国家珠宝玉石质量检验师指定教材

系统宝石学

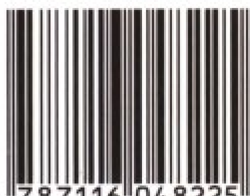
SYSTEMATIC GEMMOLOGY

（第二版）

张蓓莉　主编

地质出版社





ISBN 7-116-04822-7
P·2676 定价:380.00元

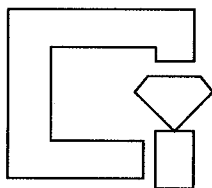
国家珠宝玉石质量检验师指定教材

系统宝石学

SYSTEMATIC GEMMOLOGY

（第二版）

张蓓莉 主编



地质出版社

·北 京·

内容提要

本书全面系统地阐述了天然宝玉石的宝石学特征，重点叙述了50余种常见宝玉石和80余种稀少宝石的物理性质、晶体结构、化学成分及鉴定方法；介绍了天然宝石的人工优化方法及其鉴别特征、合成宝石和人造宝石的生产原理、方法及其鉴定；探讨了宝石的款式设计、加工及其与宝石物理性质的关系；介绍了常规宝石鉴定仪器的结构和使用方法，结合宝石学最新发展，介绍了几种大型仪器（如红外光谱仪和拉曼光谱仪等）的原理、结构及其在宝石鉴定和宝石学研究中的应用。

全书层次分明，概念清晰，语言流畅，内容充实，可作为从事宝石鉴定的专业技术人员、大专院校宝石专业的师生、宝石科研工作者和宝石贸易界人士学习的教材，也可用做常备的工具书。

图书在版编目（CIP）数据

系统宝石学／张蓓莉主编. —2版. —北京：地质出版社，2006.5

ISBN 7-116-04822-7

Ⅰ.系… Ⅱ.张… Ⅲ.宝石—教材 Ⅳ.P619.28

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第035619号

XITONG BAOSHI XUE

责任编辑：何　蔓　刘粤湘　刘凤仁
责任校对：郑淑艳
出版发行：地质出版社
社址邮编：北京海淀区学院路31号，100083
电　　话：(010) 82324508（邮购部）；(010) 82324580（编辑部）
网　　址：http://www.gph.com.cn
电子邮箱：zbs@gph.com.cn
传　　真：(010) 82310759
印　　刷：北京地大彩印厂
开　　本：787mm × 1092mm　1/16
印　　张：45.5
字　　数：1107千字
印　　数：1—5000册
版　　次：2006年5月北京第二版·第一次印刷
定　　价：380.00元
ISBN 7-116-04822-7 / P · 2676

《系统宝石学》编委会

（第一版）

《系统宝石学》编委会

（第二版）

前　言

（第一版）

为了适应我国珠宝业形势发展的要求，满足我国珠宝玉石质量检验专业技术人员执业资格考试的需要，国家珠宝玉石质量监督检验中心于1995年下半年成立了以中心主任张蓓莉教授为首的编委会，开始《系统宝石学》的编写工作。

在编写过程中，编者认真总结了十几年来宝石鉴定、科研、教学等工作经验，深入分析了宝石学的发展态势，汇集了近年来国际珠宝界在鉴定和研究中的最新资料，对宝石学的基础理论知识和鉴定方法作了系统论述，力求使读者从中学习宝石学的基础理论知识，掌握宝石常规鉴定方法，提高宝石学科研能力。

全书分为四篇十六章。绪论部分根据《珠宝玉石名称标准》，阐述了珠宝玉石的分类和定名原则。宝石学基础篇分为六章，概述了结晶学、矿物学、光学等相关基础理论。宝石鉴定仪器篇分二章，论述了常规鉴定仪器的设计原理、结构和使用方法，特别是增加了对大型仪器在宝石学中应用的论述，以适应宝石鉴定与高、精、尖技术密切结合的发展趋势。宝石各论篇为全书的重点，共五章，依次论述了常见宝石、常见玉石、稀少宝玉石和有机宝石等不同品种宝石的基本性质、鉴定特征及与合成、优化、仿制品的鉴别方法，层次清晰，内容新颖。宝石的合成、优化和加工篇分三章，分别对宝石的合成、优化和加工技术进行了简明的论述，使鉴定人员在了解主要宝石的合成方法和优化过程基础上，提高综合判断能力和系统鉴别能力。

全书层次分明，概念清晰，语言流畅，内容充实，可做为从事宝石鉴定的专业技术人员、大专院校宝石专业的师生、宝石科研工作者和宝石贸易界人士学习的教材，也可用做常备的工具书。

本书由张蓓莉教授主编，编委会主要成员有张蓓莉、王曼君、李景芝、高岩、郭涛、柯捷、陈斌。参加编写的人员还有沈美冬、马青、张钧、陈学明、田晶、魏华、林江、周军。编委会特邀吕麟素、傅林堂、史恩赐参加了部分章节的编写工作。

初稿完成后，王曼君、陈斌负责全书的统编和定稿。

E.J.Gubelin博士、珠宝界杂志社邱惟钟社长、中国宝石杂志社、戴比尔斯公司等为本书提供了部分图版，郭克毅研究员协助拍摄了部分照片，在此深表感谢。

全国珠宝玉石质量检验执业资格考试专家委员会全体委员对全书进行了认真的审阅、评定，并一致同意推荐本书为珠宝玉石质量检验执业资格考试的培训教材。

国家珠宝玉石产品质量监督检验中心
《系统宝石学》编委会
一九九七年五月

SYSTEMATIC GEMMOLOGY

(First Edition)

A brief introduction

To match the demands from the development of jewelry trades in China, the book Sys- tematic Gemmology was written by relevant specialists under the organization of the Compiling Group headed by Prof. Zhang Beili of the National Gemstone Testing Center.

The book consists of four parts and fifteen chapters. The Introduction involves the classification and principles of denomination according to the National Standards of Gemstone Nomenclature. Part 1, the Principles of Gemmology, including six chapters, summarizes the basic theory relevant to crystallography, mineralogy, crystal optics etc. Part 2,Instruments for Gemstone Testing, including two chapters, elucidates the principle of designing, structure and methods of using of conventional testing instruments, with special reference to the application of large-scale instruments, such as the infrared spectrometer, to gemmology, in order to con- form to the development trend of the close association of gemstone testing with modern techniques. Part 3, the Description of Gemstones, including four chapters, relates successively the basic features and identification characteristics of various gemstones like common gems, common jades, rare gemstones and organic gems, and their discrimination from the synthesized, optimized and imitated gemstones. Part 4, the Synthesis, Optimization and Processing of Gems, including three chapters, makes brief statements on the techniques of synthesis, optimization and processing of gems.

In the book, the experiences on various aspects like gem identification, scientific research and teaching on gemmology over the ten odd years are conscientiously summarized, and the latest data on the identification and scientific research in the international jewelry trades are also compiled.

This book, with its rich data, full and accurate contents, the close combination of theory with practice, as well as its appropriate arrangement of ideas, clear elucidation of concepts and easy and smooth writings, is a rather systematic comprehensive and authoritative book at present. It has been examined and appraised by the National Expert Committee on the All-China Professional Qualification Examination of Certified Gemmologist of China(CGC), and has been recommended by the Committee as a training material for the All-China Professional Qualification Examination of Certified Gemmologist of China. This book can also be used as a textbook or reference book for special technicians engaged in gemstone identification, teachers and students on gemmology specialty in universities and colleges, scientific researchers on gemology and businessmen in gem trade circles.

The chief editor of the book is Zhang Beili, and the main writers are Wang Manjun, Li Jingzhi, Gao Yan, Guo Tao and Ke Jie.

前　　言

（第二版）

《系统宝石学》是国家珠宝玉石质量检验师(CGC)考试考前培训指定教材。自1997年出版以来近八年的时间里，该教材得到了广大珠宝玉石鉴定检验专业技术人员的充分肯定；同时也受到了珠宝行业经营管理人员及相关珠宝专业大专院校的普遍欢迎和好评；更得到了业内专家的高度评价。该教材为我国珠宝质检专家队伍的培养、国家珠宝玉石质量检验师执业资格制度的实施、使珠宝行业向着规范健康化的发展起到了重要作用。

随着近几年珠宝行业的快速发展，也出现了很多新的鉴定技术问题和新的研究成果，如在钻石合成、钻石处理技术、红蓝宝石处理等技术方面有了很大的改进和发展；特别是2003年新版《珠宝玉石国家标准》的施行，使该培训教材急需增加相关方面的内容，以满足国内珠宝玉石质检工作的需要、促进珠宝行业的规范发展，推动新的珠宝玉石国家标准的实施。

第二版的《系统宝石学》在构架上基本保持了原版的结构，同时根据2003年新的珠宝玉石国家标准及CGC考试大纲，对相关部分进行了相应的修订和调整，将第四篇“宝石的合成、优化和加工”变更为“人工宝石和宝石的优化处理”；新增设的第五篇“珠宝玉石的加工”，补充了具中国特色的“玉石加工”内容；增加了部分宝石品种，如合成碳硅石、钠长石玉、贝壳、异极矿等；增加了国内外珠宝业界最新的宝石合成及优化处理等方面的研究成果；另外，各宝石品种的内容也都有不同程度的增加和调整。为了使教材更具可读性和理解性，修订中增添了大量解释性和直观的彩色图片；增添了附录内容便于学员的查阅和记忆。修订过程中还对原版的印刷错误及某些概念给予了修订。

修编具体分工为张蓓莉、杨立信：绪论，第一篇第一章，第二章第一、二节；亓利剑：第一篇第三至六章，第二篇第二章，第四篇第二章；王新民：第一篇第二章第三节，第二篇第一章，第三篇第一章第十七、十八节；张蓓莉、李宝军：第三篇第一章第一节、第二章第十六节、第四章第七、八节；王颖：第三篇第一章第二节；刘燕：第三篇第一章第三、八节；柴萌：第三篇第一章第四、六节；赵茜：第三篇第一章第五、十五节；胡明慧：第三篇第一章第七、十一节；唐左军：第三篇第一章第九、十三节；沈崇辉：第三篇第一章第十、十四节，第二章第十八、二十节；任跃男：第三篇第一章第十二、十六节，附录；张斌：第三篇第一章第十九、二十节，附录；奥岩、张晓辉：第三篇第二章第一、二节（柴萌、刘燕、李新岭参加了部分工作）；郭涛：第三篇第二章第三、四、五、七、八、十三节（刘洁文、柴萌、任跃男、汪盈参加了部分工作）；陈华：第三篇第二章第六、九、十节（王颖参加了部分工作）；岳周旌：第三篇第二章第十一、十二、十四、十五节（周砚冰、张斌参加了部分工作）；崔文元：第三篇第二章第十七、十八节（赵茜参加了部分工作）；姚春茂：第三篇第二章第十八节；张钧：第三篇第三章（宋中华、程伊立、冯晓燕、董靖、张治国、任跃男、张斌参加了部分工作）；郭守国：第三篇第四章第一至六节（胡明慧参加了部分工作）；何雪梅、沈才卿：第

四篇第一章（唐左军参加了部分工作）；何雪梅：第五篇第一章（胡明慧参加了部分工作）；赵永魁：第五篇第二章。

胡明慧、柴萌、周砚冰、汪盈承担了全书的绘图工作；周砚冰、胡明慧、唐左军、张斌、赵茜承担了部分图片摄影工作。

杨立信、李宝军负责全书的统稿。

在修订过程中，张瑜生、DTC公司刘厚祥、劳德公司徐海平及张汉东、郭颖等为本书提供了部分图片，在此表示诚挚的感谢。

国家珠宝玉石质量监督检验中心

《系统宝石学》（第二版）编委会

二〇〇六年三月

目　录

第一篇　宝石学基础

第二篇　宝石鉴定仪器

第三篇　宝石各论

第四篇　人工宝石及宝石的优化处理

第五篇　宝石加工与玉石的加工

绪 论

第一节 宝石的基本概念

一、宝石的定义

宝石在我国也称为珠宝玉石。早在距今1.8万年前的北京周口店山顶洞人的遗址中就发现了用动物的牙齿和骨骼串成的项饰，这恐怕就是人类最早的宝石制品。究其内涵，已初步具备了作为宝石的几个基本条件。随着人类的进步和对宝石认识的不断深入和提高，天然宝石应具备的基本特征已进一步明确为美丽、稀少、耐久等特点。但随着科学技术的不断发展和创新，以及人们对审美和装饰需求的多样化，宝石的概念也在不断变化和扩展。根据我国珠宝玉石首饰行业相关的国家标准，宝石的概念具有更为广泛的含义，并称为珠宝玉石。

珠宝玉石的概念

珠宝玉石泛指一切经过琢磨、雕刻后可以成为首饰或工艺品的材料，是对天然珠宝玉石和人工宝石的统称，简称宝石。天然珠宝玉石包括天然宝石、天然玉石和天然有机宝石，人工宝石包括合成宝石、人造宝石、拼合宝石和再造宝石。

传统观念上，宝石仅指上述概念中的天然珠宝玉石，即指自然界产出的，具有色彩瑰丽、晶莹剔透、坚硬耐久，并且稀少及可琢磨、雕刻成首饰和工艺品的矿物、岩石和有机材料，天然珠宝玉石是目前珠宝玉石行业的主流产品。而人工宝石主要用于时尚首饰、工艺品、装饰品以及其他如钟表、服装、皮具和灯具等。当然这种应用范围也不是严格和一成不变的，例如天然珠宝玉石也越来越多地用于钟表、皮具、服装等高档消费品中。

二、天然珠宝玉石具备的条件

自然界中发现的矿物虽已超过3000种，但可做宝石原料的仅230余种，而国际珠宝市场上的主要高中档宝石只不过20多种，尚不及10%。可见矿物岩石必须具备一些特定的条件才能成为宝石，宝石是众多的矿物岩石的精华。

（一）美丽

美丽是宝石价值的首要条件。宝石的美由颜色、透明度、光泽、纯净度等众多因素构成。这些因素相互弥补又相互衬托，当上述因素都恰到好处时，宝石才能光彩夺目、美丽绝伦。

1. 颜色

宝石的颜色有彩色和无色之分。彩色宝石要求其颜色艳丽、纯正、均匀。例如，一块高档翡翠的颜色为纯正的浓艳的绿色，给人以青翠欲滴的感觉，才能达到视觉上的审美要求，灰色、褐色色调会降低颜色的美丽程度。而对于无色宝石（钻石除外），颜色便不是评价的主要因素了。

2. 透明度和纯净度

宝石应具有良好的透明度和纯净度。彩色宝石虽然不能达到清澈透明，然而较高的透明度将会提高其总体质量。而无色宝石的透明度和纯净度是构成宝石美的重要因素，如无色水

晶，它的高透明度使光能够充分透过，给人以晶莹剔透的感觉，成为人们喜爱的宝石；同样，高的透明度对翡翠来讲，意味着好的“水头”，这是高档翡翠的一个重要条件。但对于某些宝石来讲，并非透明度和纯净度越高越好，如对某些具有特殊光学效应的宝石（如星光效应、猫眼效应、砂金效应等），则要求相关包体较为丰富，纯净度和透明度不能太高，这样其特殊光学效应才能更明显。

3. 光泽

光泽是宝石表面反光的一种视觉效果（应），它为宝石增添了一份灵气。无色的钻石能成为宝石之王，很重要的一个因素是因为它具有极强的光泽，在阳光下光芒四射，给人以光彩夺目、灿烂辉煌的感觉。

4. 特殊的光学效应

有些宝石不以颜色称雄，但具特殊的光学效应，如星光效应、猫眼效应、变彩效应。这些特殊的光学效应给宝石平添了几分神秘，具有特殊的美感，因而使其身价倍增。我国山东的一种黑褐色蓝宝石，最初被作为废石丢弃掉，后因发现其弧面形宝石的表面具有六条明显的星线，而重新被视为宝石。

（二）耐久性

宝石不仅应绚丽多姿，而且需要经久不变，即具有一定的硬度、韧性和化学稳定性等。宝石的耐久性是由其稳定的物理化学性质所决定的，但这一条件对某些宝石可适当放宽，如有机宝石、大理岩等。

（三）稀有性

宝石以产出稀少而名贵。这种稀有性，包括品种上的稀有和质量上的稀有。因品种稀有性而影响价格的例子可举紫晶，它半透明至透明，紫色、紫红色给人以高雅之感，最初仅见于欧洲大陆，被人们视为珍宝，价值很高，但当在其他国家大量发现以后，价格大跌。另一个例子为拉长石，拉长石曾以其稀有的变彩效应备受人们珍爱，但自加拿大、原苏联发现大型矿山后，它就变成普通宝石品种了。因质量方面的稀有性而身价倍增的例子可举高档宝石祖母绿，它的矿物品种绿柱石在自然界的分布和产出并不少，但是由于绿柱石解理发育、瑕疵严重，能加工成完全无瑕者非常稀少。如乌拉尔地区的祖母绿，原石可重几千克，加工后的成品可能仅有1ct左右。因此，大而完美的祖母绿成品便成为了稀世之宝。

应该指出的是，作为宝石或宝石的一个品种，并不一定要求它在美丽、耐久和稀有这三个方面同时都是最佳或最为突出的。往往它的一两个方面比较突出就可以视为宝石，只不过在价值上会有所差异。如琥珀，虽然其硬度不是很高，摩氏硬度只有2～3，其耐久和抗磨损强度不大，但它们仍以其深厚的文化背景，特殊的蜜黄、棕红等颜色，柔和的光泽和特殊包体吸引着人们，成为一种珍贵的宝石品种。又例如某些具星光效应的红蓝宝石，即使它们的颜色不是很好，但如果其星光效应明显完美，也会价值不菲。另外，宝石的价值除与本身的品质有关外，也会随时间、地域、文化、审美观念和资源储量及当时经济环境等等因素的变化而变化。

第二节　宝石的分类

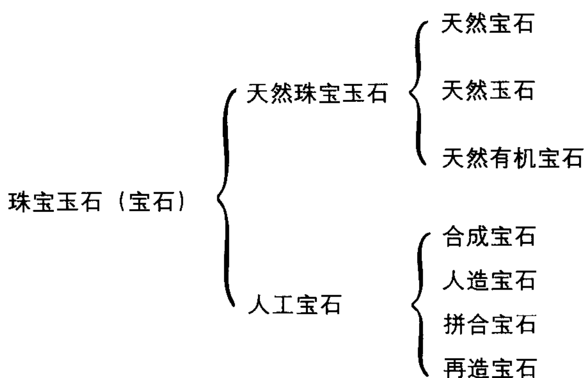
每一种宝石都有其特定的生成条件、化学成分和内部结构，这就决定了其特有的形态特征及物理化学性质。同时，一些宝石相互之间在成因、化学成分或内部结构上又有着某些相

似之处，即具有共性。因此，宝石分类的任务就是要用科学的方法揭示和表述这种共性和个性，把本质上相同、内在规律一致的一组宝石划归在一起。但由于宝石自身的特殊性，迄今为止国际上还没有一个统一的分类方案。例如在国际上有些地区习惯将宝石分为两大类，即彩色宝石和钻石，在两大类中再分为天然和合成宝石等，彩色宝石是指除钻石以外的所有其他宝石和玉石。也有人又把珍珠单独划为一类。因此，如何科学、合理地对宝石进行分类是国际珠宝界共同关心的问题。

我国珠宝玉石首饰行业的国家标准对珠宝玉石给出了明确的定义和分类。分类的主要原则如下。

- 宝石的成因类型，即以天然成因或人工制造为依据，将宝石分为两大类。然后再根据宝石的组成和性质进一步划分。
- 考虑国际的通用性、习惯性，尽量采用目前国际上普遍使用的、趋于统一的分类原则进行分类。
- 突出我国以玉石为特色的传统珠宝玉石品种。

我国现行珠宝玉石首饰行业的国家标准具体分类方案为：



一、天然珠宝玉石

天然珠宝玉石的定义：由自然界产出，具有美观、耐久、稀少性，具有工艺价值，可加工成装饰品的物质。

天然珠宝玉石按照组成和成因不同可分为：天然（单晶）宝石、天然玉石和天然有机宝石。

（一）天然宝石

指由自然界产出，具有美观、耐久、稀少性，可加工成装饰品的矿物单晶体或双晶。

天然宝石的品种很多，为了对众多的品种进行分类命名和深入研究，宝石科研鉴定工作者往往用矿物学的分类方法对宝石进行族、种、亚种的细分，而宝石贸易界又往往习惯按照价值规律对宝石进行高档、中低档的划分，还有的根据宝石的稀缺程度将其分为常见和稀少两类。

1. 天然宝石矿物的族、种、亚种的划分

国家珠宝玉石名称标准中，没有给出天然宝石的族、种、亚种划分方案和定义，根据国家标准，只需确定宝石的基本名称即可。但为了更好地掌握不同宝石品种之间的规律性和提

高解决实际问题的能力，本书仍引用了矿物学中族、种、亚种划分方法进行编写。矿物学中族、种、亚种的概念介绍如下。

(1) 族

指化学组成类似、晶体结构相同的一组类质同象系列的宝石。如石榴石族、电气石族、长石族、辉石族。同一族宝石由若干个宝石品种组成。

(2) 种

指主要化学组成和晶体结构都相同的宝石。是宝石种分类的基本单位，每一个宝石种都有相对固定的化学组成和相应的晶体结构，例如石榴石族矿物中包括了铁铝榴石和镁铝榴石等种。种是宝石命名的基本名称。

(3) 亚种

亚种是矿物学中的一个概念，是指同一个种的矿物，因化学组成中的微量组分不同，从而在晶形、物理性质（如颜色、透明度）等外部特征上有较明显变化者可称为亚种。例如刚玉矿物，由于其含有Fe、Ti、Cr等微量元素形成蓝色或红色刚玉变种，即宝石学中的红宝石和蓝宝石。但在我国现行的珠宝玉石国家标准中，没有明确亚种的概念。实际上矿物学中的亚种在国内宝石学中仍视之为一个宝石品种，这主要考虑到矿物学中的亚种在宝石学中还涉及其社会属性或价值规律。

在国际上，关于宝石的亚种也没有一个统一的概念和分类。美国宝石学院（GIA）基本沿用了矿物学中的概念，仍然使用亚种（或变种）的概念。例如，GIA仍把红蓝宝石看作是刚玉的亚种（或变种）。

2. 天然宝石按价值和稀缺程度的划分

根据珠宝玉石国家标准，没有高档、中低、常见和稀少宝石种类的划分，也禁止使用这些名称来命名宝石。这里只是作一简单介绍，目的是对商业界的一些惯例有个了解。

(1) 高档宝石

指传统的、历来被人们所珍视的、价值较高的宝石。目前国际珠宝界公认的高档宝石品种有钻石、祖母绿、红宝石、蓝宝石、金绿宝石（变石、猫眼）。

(2) 中低档宝石

指那些虽具有美丽、耐久和稀少等特点，但与高档宝石品种相比价值较低的宝石。这类宝石品种繁多，如电气石、绿柱石、石榴石、尖晶石、水晶等。

(3) 稀少宝石

有些宝石品种，它们往往由于产量低，不足以在市场上广为流通，通常在宝石试验室、陈列室或收藏家手中才能出现的宝石。其价值要视的具体情况而定，如塔菲石，产自斯里兰卡，可有米黄色、淡紫色、淡红色等颜色，最早发现的一块原石仅1.419ct。据统计，迄今为止能琢磨成刻面宝石的塔菲石仅有几块。

（二）天然玉石

指由自然界产出的，具有美观、耐久、稀少性和工艺价值的矿物集合体，少数为非晶质体。

玉石的具体品种主要是根据构成矿物集合体的主要矿物成分来划分的，也有一些是根据产地和传统的名称来命名的。

玉石行业则习惯于按照材料的价值、硬度、工艺特点将玉石分为高档玉石、中低档玉石和雕刻石等几大类，但《珠宝玉石 名称》国家标准没有此分类方案，在玉石命名中也是禁止使用的。

1. 高档玉石

高档玉石的摩氏硬度（H_M）在6～7之间。目前国际上公认的高档玉石品种仅有翡翠和软玉。翡翠和软玉以其适中的硬度和韧度、美丽的色泽成为玉石之冠。高品质的翡翠多加工成戒面、手镯等首饰，质量较差、块度较大的则多制成雕件；而软玉则主要用于挂件和摆件的雕刻，但近来也有用高品质的翡翠和软玉制作成大型雕件的。

2. 中低档玉石

中低档玉石的摩氏硬度（H_M）通常在4～6之间。与翡翠和软玉相比，这类玉石品种繁多，在国际贸易中往往要求直接标示产品的主要组成矿物或岩石的名称。中低档玉石主要品种有玛瑙、石英岩、青金石、岫玉等。它们当中少部分高质量者可加工成高档首饰，大部分则加工成挂件或摆件。

3. 雕刻石

雕刻石的摩氏硬度（H_M）一般小于4，可以用雕刻刀进行工艺加工。主要品种有图章石（如寿山石、鸡血石、青田石等）、砚石和装饰石。其中少数品种价值很高，如田黄、鸡血石等。

（三）天然有机宝石

指由自然界生物生成，部分或全部由有机物质组成，可用于首饰及装饰品的材料。养殖珍珠（简称“珍珠”）也归于此类。

有机宝石是自然界生物作用形成的固体，它们部分或全部由有机物质组成，其中的一些品种本身就是生物体的一部分，如大象的牙齿、玳瑁的壳。这些生物成因的固体以其美丽的颜色、特殊的光泽和柔韧的质地，成为天然宝石家族的成员。人工养殖珍珠，由于其养殖过程和产品基本与天然珍珠的自然性及产品特征基本相同，所以也被划归为天然有机宝石。

二、人工宝石

指完全或部分由人工生产或制造，用作首饰及装饰品的材料，包括合成宝石、人造宝石、拼合宝石和再造宝石。

1. 合成宝石

指完全或部分由人工制造且自然界有已知对应物的晶质体或非晶质体，其物理性质、化学成分和晶体结构与所对应的天然珠宝玉石基本相同。

如合成红宝石与天然红宝石化学成分均为$A1_2O_3$（都含微量元素Cr），它们具有相同的晶体结构、折射率和硬度等。

2. 人造宝石

指由人工制造且自然界无已知对应物的晶质或非晶质体。如人造钛酸锶，迄今为止自然界中还未发现此品种。

3. 拼合宝石

指由两块或两块以上材料经人工拼合而成，且给人以整体印象的珠宝玉石，简称“拼合石”。如国际市场上流行的一种蓝色刻面琢型的拼合宝石，常常上部为合成蓝宝石，下部为天然蓝宝石，二者之间用树脂粘合，看上去似一个完整的刻面宝石。

4. 再造宝石

指通过人工手段将天然珠宝玉石的碎块或碎屑熔接或压结成具整体外观的珠宝玉石。常见的有再造琥珀等。

第三节 宝石的命名

一、概述

由于历史和地域差异等原因，目前国际宝石界有关宝石的定名没有一个统一的原则和标准，可以说命名方法多种多样，有的甚至是含混不清的，概述起来大致有以下几种情况。

1. 以颜色直接命名宝石

如红宝石、绿宝石、绿晶、黄晶等。由于认识水平的限制，早期人们无法准确鉴别宝石，只能以直观感觉来命名宝石，于是造成了同一名称包含多个品种的混乱。如在绿晶这一名称下就可能包含了祖母绿、绿色蓝宝石等所有绿色的宝石品种，甚至包括绿色玻璃等。

2. 以特殊的光学效应直接命名

如用星光效应、猫眼效应直接命名，便产生了星光宝石、星石、猫眼等名称。然而同一猫眼名称下的金绿宝石和海蓝宝石价格差异很大。因此，仅用特殊光学效应直接命名宝石有着明显的不合理性。

3. 以产地命名

以产地命名有两种情况：一是以产地直接命名，使产品带有地方特色，便于销售，久而久之这些产地名演变成宝石品种的名称，例如岫玉以其产于岫岩县而得名，然而以产地命名往往造成同一宝石品种有多种名称，就以蛇纹石玉为例，在我国就有南方玉、泰山玉等名称；二是把一个普通的宝石品种用产地和与其颜色相似的某高档宝石的名称联合命名，如原捷克斯洛伐克产的一种红色石榴石，被称为波西米亚红宝石。

4. 以矿物或岩石名称直接命名

这是宝石界普遍采用的一种命名方式，特别是用于一些新发现的宝石品种的命名。例如尖晶石、绿柱石、石榴石、电气石，这些均是以矿物名称直接命名的。

5. 古代的一些传统名称

如翡翠、琥珀等，这些传统名称都与古代的一些传说有关。

6. 以生产厂家、生产方法、式样等直接命名宝石

例如用查塔姆祖母绿、林德祖母绿来命名合成祖母绿。还有用工艺名称、俗称和商业名称等对宝石进行命名的。

由上述可知，如此众多的命名方法造成了宝石名称的不准确性和含混性，从而给珠宝贸易的进行也带来了很多困难。针对这些问题，我国制定的国家标准给出了相应的命名原则。

二、宝石命名原则

为了科学准确地描述宝石品种，更好地规范珠宝玉石市场，保护消费者利益，同时考虑到商业界和传统的名称习惯以及国际通用名称和规则，国家制定了珠宝玉石行业《珠宝玉石名称》等一系列国家标准。

《珠宝玉石 名称》国家标准以矿物、岩石名称作为天然宝石材料的基本名称。部分传统名称源于矿物但又不完全等同于矿物名称，但这些名称已普遍被国际珠宝界接受，并成为某些宝石的特指名称，国家标准仍给予了采纳和继续使用，作为天然宝石材料的基本名称，如翡翠、软玉、玛瑙、钻石、祖母绿、红宝石等。考虑到我国传统珠宝业习惯，古代至今沿用并广泛被接受，且有确切对应的天然矿物岩石的名称，部分由产地命名的珠宝玉石名称在国家标准中也被保留了下来，如和田玉与岫玉，它们分别指软玉和蛇纹石玉，但这些由产地演

变而来的玉石名称已不再具有产地的含义。

我国《珠宝玉石 名称》(GB/T 16552—2003) 珠宝玉石名称命名原则规定如下。

(一) 命名总则

● 各种珠宝玉石的定名必须以《珠宝玉石 名称》附录A中所列基本名称为基础，按标准中规定的各类定名规则及《珠宝玉石 名称》附录B确定。

● 附录A基本名称中未列人的其他名称，但在附录A有对应名称，在使用时必须加括号，并在其前注明附录A中所列出的同种矿物（岩石）或材料的珠宝玉石名称。如允许使用“萤石（软水紫晶)”方式命名，但标准不鼓励使用这种方式，鼓励使用“萤石”直接命名。

● 附录A未列人的其他矿物（岩石）名称可直接作为珠宝玉石名称。

●“珠宝玉石”、“宝石”不能作为具体商品的名称。

(二) 各类珠宝玉石具体命名原则

1. 天然宝石

1）直接使用天然宝石基本名称或其矿物名称。无需加“天然”二字，如：“金绿宝石”、“红宝石”等。

2）产地不参与定名，如“南非钻石”、“缅甸蓝宝石”等。

3）禁止使用由两种天然宝石名称组合而成的名称，如“红宝石尖晶石”、“变石蓝宝石”等，“变石猫眼”除外。

4）禁止使用含混不清的商业名称，如“蓝晶”、“绿宝石”、“半宝石”等。

2. 天然玉石

1）直接使用天然玉石基本名称或其矿物（岩石）名称。在天然矿物或岩石名称后可附加“玉”字，无需加“天然”二字，“天然玻璃”除外。

2）不用雕琢形状定名天然玉石。

3）不允许单独使用“玉”或“玉石”直接代替具体的天然玉石名称。

4）附录A表A2中列出的带有地名的天然玉石基本名称，不具有产地含义。

3. 天然有机宝石

1）直接使用天然有机宝石基本名称，无需加“天然”二字，“天然珍珠”、“天然海水珍珠”、“天然淡水珍珠”除外。

2）养殖珍珠可简称为“珍珠”，海水养殖珍珠可简称为“海水珍珠”，淡水养殖珍珠可简称为“淡水珍珠”。

3）不以产地修饰天然有机宝石名称，如“波罗的海琥珀”。

4. 合成宝石

1）必须在其所对应天然珠宝玉石名称前加“合成”二字，如“合成红宝石”、“合成祖母绿”等。

2）禁止使用生产厂、制造商的名称直接定名，如“查塔姆（Chatham）祖母绿”、“林德（Linde）祖母绿”等。

3）禁止使用易混淆或含混不清的名词定名，如“鲁宾石”、“红刚玉”、“合成品”等。

5. 人造宝石

1）必须在材料名称前加“人造”二字，如“人造钇铝榴石”，“玻璃”、“塑料”除外。

2）禁止使用生产厂、制造商的名称直接定名。

3）禁止使用易混淆或含混不清的名词定名，如“奥地利钻石”等。

4）不允许用生产方法参与定名。

6. 拼合宝石

1）逐层写出组成材料名称，在组成材料名称之后加“拼合石”三字，如“蓝宝石、合成蓝宝石拼合石”，或以顶层材料名称加“拼合石”三字，如“蓝宝石拼合石”。

2）由同种材料组成的拼合石，在组成材料名称之后加“拼合石”三字，如“锆石拼合石”。

3）对于分别用天然珍珠、珍珠、欧泊或合成欧泊为主要材料组成的拼合石，分别用拼合天然珍珠、拼合珍珠、拼合欧泊或拼合合成欧泊的名称即可，不必逐层写出材料名称。

7. 再造宝石

在所组成天然珠宝玉石名称前加“再造”二字。如“再造琥珀”等。

8. 仿宝石

仿宝石是指用于模仿天然珠宝玉石的颜色、外观和特殊光学效应的人工宝石以及用于模仿另外一种天然珠宝玉石的天然珠宝玉石。“仿宝石”一词不能单独作为珠宝玉石名称，定名规则如下。

1）在所模仿的天然珠宝玉石名称前冠以“仿”字，如“仿祖母绿”、“仿珍珠”等。

2）应尽量确定并给出模仿某种宝石所用的具体珠宝玉石的名称，且采用下列表示方式表达：如“玻璃”或“仿水晶（玻璃）”。

3）当确定模仿某种宝石所用的具体珠宝玉石的名称时，应遵循本标准规定的其他各项命名规则。

遵循本标准时应注意：①仿宝石不代表珠宝玉石的具体类别；②当使用“仿某种珠宝玉石”（例如“仿钻石”）这种表示方式作为珠宝玉石名称时，意味着该珠宝玉石不是所仿的珠宝玉石（如“仿钻石”不是钻石），而且具体模仿材料有多种可能性（如“仿钻石”可能是玻璃、合成立方氧化锆或水晶等）。

（三）具特殊光学效应珠宝玉石的命名原则

1. 猫眼效应

可在珠宝玉石基本名称后加“猫眼”二字，如“磷灰石猫眼”、“玻璃猫眼”等。只有“金绿宝石猫眼”可直接命名为“猫眼”。

2. 星光效应

可在珠宝玉石基本名称前加“星光”二字，如“星光红宝石”、“星光透辉石”，具星光效应的合成宝石定名方法是，在所对应天然珠宝玉石的基本名称前加“合成星光”四字，如“合成星光红宝石”。

3. 变色效应

可在珠宝玉石基本名称前加“变色”二字，如“变色石榴石”。具变色效应的合成宝石定名方法是，在所对应天然珠宝玉石的基本名称前加“合成变色”四字，如“合成变色蓝宝石”。只有具有变色效应的金绿宝石方可直接命名为“变石”；如果金绿宝石同时具有猫眼和变色效应，则可直接命名为“变石猫眼”。

4. 其他特殊光学效应

除星光效应、猫眼效应和变色效应外，在珠宝玉石中所出现的所有其他特殊光学效应（如砂金效应、晕彩效应、变彩效应等）定名规则为：特殊光学效应不参加定名，可以在备注中附注说明。

（四）优化处理珠宝玉石的命名原则

优化处理的定义：指除切磨和抛光以外，用于改善珠宝玉石外观（颜色、净度或特殊光学效应）、耐久性或可用性的所有方法。分为优化和处理两类。

1. 优化

是指传统的、被人们广泛接受的、使珠宝玉石潜在的美显示出来的优化处理方法。常见方法有：热处理、漂白、浸蜡、浸无色油、染色（玉髓、玛瑙类）。定名规则如下。

1）直接使用珠宝玉石名称。

2）珠宝玉石鉴定证书中可不附注说明。

2. 处理

是指非传统的、尚不被人们接受的优化处理方法。常见方法有：热处理（翡翠）、漂白（翡翠）、浸有色油、充填（玻璃充填、塑料充填或其他聚合物等硬质材料充填）、浸蜡（绿松石）、染色、辐照、激光钻孔、覆膜、扩散、高温高压处理等。定名规则如下。

1）在所对应珠宝玉石名称后加括号注明“处理”二字或注明处理方法，如“蓝宝石（处理）”、“蓝宝石（扩散）”、“翡翠（处理）”、“翡翠（漂白充填）”；也可在所对应珠宝玉石名称前描述具体处理方法，如“扩散蓝宝石”、“漂白充填翡翠”。

2）在珠宝玉石鉴定证书中必须描述具体处理方法。

3）在目前一般鉴定技术条件下，如不能确定是否经处理时，在珠宝玉石名称中可不予表示，但必须加以附注说明且采用下列描述方式，如“未能确定是否经过×××处理”，或“可能经过×××处理”，如“托帕石，备注：未能确定是否经过辐照处理”，或“托帕石，备注：可能经过辐照处理”。

4）经处理的人工宝石可直接使用人工宝石基本名称定名。

第一篇　宝石学基础

第一章　结晶学基础

自然界中的宝石大多都是晶体或由晶体构成的。结晶学是一门涉及晶体结构、形态和性质的学科。它从本质上揭示了宝石的化学成分、结构、形态、物理化学性质及形成条件等之间的相互关系，是解决宝石学问题的重要理论基础。作为宝石学最重要的基础学科之一，结晶学知识对宝石学家是必不可少的。宝石的化学成分和结构决定了宝石的种属和该宝石种可能出现的几何形态和物理化学性质。反之宝石学家通过对未知宝石形态和物理化学性质的研究和测试，可以推断其化学成分和结构，最终确定出宝石的种属。这就是宝石鉴定的基本原理。

宝石是那些具有宝石特性的矿物或矿物集合体。因此，从矿物学的角度来说，人们也称宝石为宝石矿物。

矿物是指由地质作用形成的固态的天然单质或化合物，它们具有一定的化学成分和内部结构，从而具有一定的几何形态、物理和化学性质，它们在一定的物理化学条件下稳定，是组成岩石的基本单位。绝大多数宝石矿物为无机物，少数为有机物，如琥珀等。目前人们发现的3000余种矿物大多数为晶体。

岩石是指由地质作用形成的矿物集合体。它可以是由一种矿物为主构成的集合体，也可以是由多种矿物构成的集合体。根据岩石的成因可将其划分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。原生宝石矿物的成因也可归结为岩浆作用成因、沉积作用成因和变质作用成因三大类。

第一节　晶体与非晶体

一、晶体

晶体是指具有格子构造的固体。

格子构造是指晶体的内部质点（原子、离子）作规律排列，而且这种排列可在三维空间作周期性重复（见图1-1-1）。

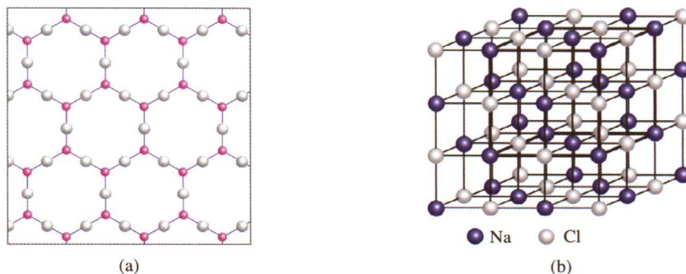


图1-1-1　石英（SiO_2）晶体结构(a)和石盐（NaCl）晶体结构(b)示意图

每种宝石矿物晶体都具有其个性特征，并通常表现出典型的规则几何形态（晶形）。这种形态是其格子构造的外观表现，如水晶、红宝石、祖母绿等。

由于晶体的共性是具有格子构造，这就决定了晶体有以下共同的基本性质。

自限性　指晶体在适当的条件下可以自发地形成几何多面体的性质。即晶体是由平的晶面所包围起来的封闭几何体，晶面相交成直的晶棱，晶棱会聚成尖的角顶。

均一性　因为晶体是具有格子构造的固体，因此在同一晶体的不同部分，质点的分布是相同的，所以晶体的各个部分的物理化学性质也是相同的，这就是晶体的均一性。

各向异性（异向性）　在晶体格子构造中，除对称原因外，往往不同方向上质点的排列是不一样的，因此晶体的性质也会随方向的不同而有所差异，这就是晶体的各向异性。如不同方向上硬度和解理的差异等都是晶体异向性的表现。

对称性　晶体具有格子构造本身就是对称的表现，从外部形态来看，晶体的晶面、晶棱和角顶在晶体的不同方向和部位有规律地重复出现便是晶体对称的直观体现。对称是晶体极其重要的性质，下面还要专门介绍。

最小内能　指在相同的热力学条件下，晶体与同种成分物质的非晶质体、液体、气体相比较，其内能最小。实验证明，物体由非晶质体、液体、气体向晶体转化时，都有热的析出，这就说明晶体的内能最小。

稳定性　由于晶体具有最小内能，因而结晶状态是一种相对稳定的状态，这就是晶体的稳定性。

晶体可分为单晶体和多晶体。绝大部分宝石矿物是单晶体，比如钻石、蓝宝石、祖母绿、海蓝宝石和紫晶等。也有部分宝石是多晶体，即玉石，它们是由许多细小同种或不同种晶体构成的集合体。根据构成集合体矿物颗粒的大小，可将其分为显晶质和隐晶质；隐晶质又可进一步划分为显微显晶质（或微晶质）和显微隐晶质。

显晶质是指直接用肉眼或借助普通10倍放大镜就可辨认出其中的单个矿物晶体颗粒的集合体，如结构比较粗松的翡翠和石英岩等。

隐晶质是指用肉眼或借助普通10倍放大镜不能观察和分辨出单个矿物颗粒的集合体。如果隐晶质在光学显微镜下可以观察到其颗粒，可称其为显微显晶质（或微晶质），例如部分软玉和结构比较细腻的翡翠等；如果在光学显微镜下也不能观察到其颗粒或只有微弱的光性显示，则称其为显微隐晶质，如玉髓和软玉等。

对矿物集合体来说，虽然构成集合体的每个晶体颗粒其内部质点做有序排列，但其集合体往往不能表现出规则的几何外形，而多呈块状。

二、非晶质体

与晶体情况相反，有些物质的内部质点不作规则排列，不具格子构造，因而没有规则的几何外形，这类物质就称为非晶质或非晶质体。从内部结构的角度来看，非晶质体中的质点分布类似于液体。这类宝石材料包括火山玻璃、蛋白石和琥珀等（见图1-1-2）。

非晶质体不具有晶体所具有的自限性、各向异性、对称性、最小内能和稳定性等基本性质。

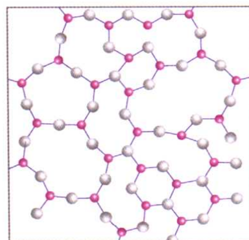


图1-1-2 石英玻璃（SiO_2）结构示意图

第二节　晶体的分类

晶体的科学分类是以晶体的对称特点为基础的，所以先简要介绍一下晶体的对称特点。

一、晶体的对称

对称是指物体相同部分有规律地重复，如某些动物、植物的叶子和花瓣等。但物体对称的高低程度有所不同，有的对称程度很高，有的很低，或者说不具某些对称性（见图1-1-3）。

从宏观上来看，晶体的对称表现为构成其外部几何形态的面、棱和角顶有规律地重复。

从微观角度来看，由于晶体都具有格子构造，而格子构造本身就是质点在三维空间周期性重复的体现，因此从这种意义上来讲，所有的晶体都是对称的。

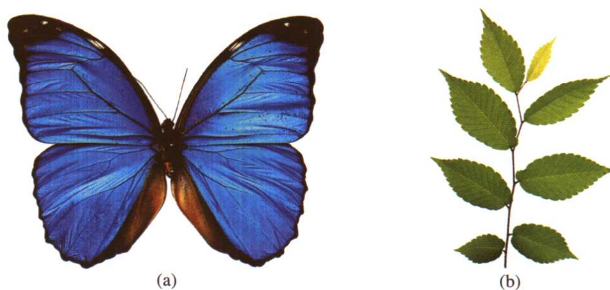


图 1-1-3 蝴蝶的对称性(a)和树叶的不对称性(b)

晶体的对称特点取决于它内在的格子构造。不同的宝石矿物由于其格子构造不同，因而具有不同的对称性。有的矿物晶体对称性很高（如钻石和尖晶石等），有的则对称性较低（如黄玉、斜长石）。只有符合格子构造规律的对称才能在晶体上体现出来，因此晶体的对称是有限的。

另外晶体的对称不仅体现在外形上，同时也体现在物理性质（如光学、热学和电学性质等）上，即晶体的对称不仅仅是几何意义上的对称，也包括物理意义上的对称。

为了研究和分析晶体的对称性，往往要进行一系列的操作。使晶体中相同部分重复而进行的操作叫对称操作。进行对称操作所借助的几何要素（点、线、面）称为对称要素，一般对称要素包括对称面、对称轴和对称中心等。

1. 对称面（P）

对称面是一个假想的通过晶体中心的平面，它将晶体平分为互为镜像的两个相等部分。对称面可以垂直并平分晶面，可以垂直晶棱并通过它的中点，也可以包含晶棱（见图1-1-4）。

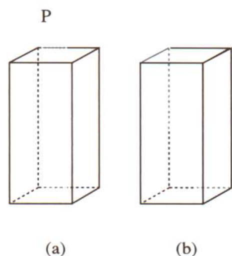


图 1-1-4 对称面(a)和非对称面(b)

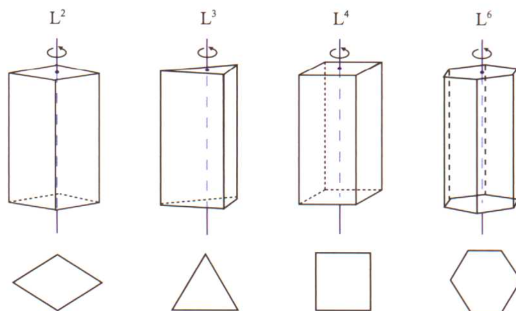


图 1-1-5 晶体中的对称轴 L^2、L^3、L^4 和 L^6 举例
下面的图表示垂直该轴的切面

2. 对称轴（L）

对称轴是一根假想的通过晶体中心的直线，相应的对称操作是围绕此直线的旋转。旋转一周，晶体中相同部分重复的次数叫轴次。晶体外形上可能出现的有意义的对称轴有二次对称轴（L^2）、三次对称轴（L^3）、四次对称轴（L^4）和六次对称轴（L^6），轴次高于二次的对称轴，即 L^3、L^4、L^6 称为高次轴（见图 1-1-5）。

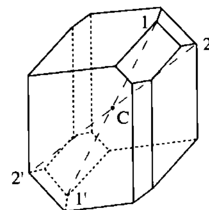


图 1-1-6 具有对称中心(C)的图形
1 与 1′、2 与 2′ 为对应点

3. 对称中心（C）

对称中心是一个假想的位于晶体中心的点，相应的对称操作就是对此点的反伸。如果通过此点作任意直线，则在此直线上距对称中心等距离的两端必定可找到对应点（见图 1-1-6）。

一个晶体中所有对称要素的组合称为该晶体的对称型。例如，钻石晶体存在三个 L^4、四个 L^3、六个 L^2、九个对称面 P、一个对称中心 C，那么钻石的对称型就是所有这些对称要素的总和，可记为：$3L^4 4L^3 6L^2 9PC$。自然界中所有晶体归纳起来共有 32 种对称型（见表 1-1-1）。

二、晶体的分类

（一）晶体的分类

根据晶体对称性的特点，可以把晶体划分成七大晶系。再根据晶体是否有高次轴和有几个（一个或多个）高次轴，把七大晶系归纳为低、中、高级三个晶族。低级晶族没有高次轴，它包括三斜晶系（无对称轴和对称面）、单斜晶系（二次轴或对称面不多于一个）和斜方晶系（二次轴或对称面多于一个，无高次轴）；中级晶族（只有一个高次轴）包括四方晶系（有一个四次轴）、三方晶系（有一个三次轴）和六方晶系（有一个六次轴）；高级晶族只有等轴晶系，它有一个以上的高次轴（如都具有四个三次轴）。

（二）晶体的定向及晶格常数

1. 晶体定向

晶体定向就是在晶体中确定一个坐标系统，也就是选择坐标轴（又可称为晶轴）和确定各晶轴上单位长（轴长）之比（轴率）。给晶体定向的目的是为了更确切地描述和表达构成晶体的晶面、晶棱在空间的展布方位。

晶轴　系指交于晶体中心的三条直线，它们分别为 X 轴、Y 轴和 Z 轴（有些书籍中采用 a、b、c 来表示晶轴，它们分别与 X、Y、Z 相对应），晶轴的展布和正负方向与几何学中的规定相同。对于三方和六方晶系要增加一个 U 轴，其前端为负，后方为正。晶轴一般与对称轴或对称面的法线重合，或与某个晶棱方向平行。晶轴的选择要遵循一定的结晶学规律，各晶系的选轴原则见表 1-1-2。

2. 晶格常数

轴角　系指晶轴正端之间的夹角，它们分别以 α（$Y \wedge Z$）、β（$Z \wedge X$）、γ（$X \wedge Y$）表示。

轴长与轴率。晶轴实际上是格子构造中的行列，该行列上的结点间距称为轴长或轴单位，X、Y、Z 轴上的轴单位（结点间距，又称轴长）分别以 a_0、b_0 和 c_0 表示。由于结点间距极小（以 nm 计），需要借助 X 射线分析才能测定，因此只根据晶体外形的宏观研究是不能确定轴长的。但根据几何结晶学的方法可以确定出它们之间的比率：$a:b:c$，这一比率称

为轴率。

晶体常数　轴率 $a:b:c$ 和轴角 α、β、γ 合称为晶体常数。在一般性描述中常叙述晶体常数的特征，而不给出具体的轴比率值或非特殊的轴角值。如轴率特征只说明轴单位之间相等或不相等（如 $a = b \neq c$），轴角只说明是否为特殊角（如 $\alpha = 90°$、$\beta > 90°$、$\gamma = 120°$）即可。

表 1-1-1　晶体的分类

晶族	晶系	对称特点	对称型种类
低级晶族（无高次轴）	三斜晶系	无 L^2，无 P	1. L^1 2. $\underline{C}$
	单斜晶系	L^2 或 P 不多于 1 个	3. L^2 4. P 5. $\underline{L^2PC}$
	斜方晶系	L^2 或 P 多于 1 个	6. $3L^2$ 7. L^22P 8. $\underline{3L^23PC}$
中级晶族（只有一个高次轴）	四方晶系	有一个 L^4 或 L_i^4	9. L^4 10. L^44L^2 11. L^2PC 12. L^44P 13. $\underline{L^44L^25PC}$ 14. L_i^4 15. $L_i^42L^22P$
	三方晶系	有一个 L^3	16. L^3 17. L^33L^2 18. L^33P 19. L^3C 20. $\underline{L^33L^23PC}$
	六方晶系	有一个 L^6 或 L_i^6	21. L_i^6 22. $L_i^63L^23P$ 23. L^6 24. L^66L^2 25. L^6PC 26. L^66P 27. $\underline{L^66L^27PC}$
高级晶族（有数个高次轴）	等轴晶系	有四个 L^3	28. $3L^24L^3$ 29. $3L^24L^33PC$ 30. $3L_i^44L^36P$ 31. $3L^44L^36L^2$ 32. $\underline{3L^44L^36L^29PC}$

注：下有横线者为该晶系的最高对称型；L_i^4、L_i^6 分别为四次、六次旋转反伸轴。

表 1-1-2 各晶系选择晶轴的原则及晶体常数特点

晶系	选轴原则	晶体常数特点
等轴晶系	以互相垂直的L^4（在$3L^44L^36L^29PC$和$3L^44L^36L^2$对称型中）或相互垂直的L_i^4或L^2（在其他对称型中）为X、Y、Z轴	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90°$
四方晶系	以L^4或L_i^4为Z轴（主轴），以垂直Z轴并相互垂直的两个L^2或P的法线或晶棱的方向（当无L^2或P时）为X、Y轴	$a=b\neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90°$
六方晶系 三方晶系	以L^6、L_i^6、L^3为Z轴（主轴），以垂直Z轴并彼此相交为120°(轴的正端间)的三个L^2或P的法线或晶棱的方向(当L^2或P时)为X、Y、U轴	$a=b\neq c$ $\alpha=\beta=90°$，$\gamma=120°$
斜方晶系	以相互垂直的三个L^2为X、Y、Z轴；在L^22P对称型中以L^2为Z轴，以两个P的法线为X、Y轴	$a\neq b\neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90°$
单斜晶系	以L^2或P的法线为Y轴，以垂直Y轴的主要晶棱方向为Z及X轴	$a\neq b\neq c$ $\alpha=\beta=90°$，$\gamma\neq 90°$
三斜晶系	以不在同一平面内的三个主要晶棱方向为X、Y、Z轴	$a\neq b\neq c$ $\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90°$

（三）各晶系对称及晶格常数特征

1. 等轴晶系

等轴晶系有三个等长且相互垂直的结晶轴，即$a=b=c$，$\alpha=\beta=\gamma=90°$（见图1-1-7）。该晶系最高对称型为$3L^44L^36L^29PC$。三个结晶轴相当于该晶系中三个相互重直的L^4或L^2。其常见单形为立方体、八面体、菱形十二面体、五角十二面体、四角三八面体和四面体等。属于等轴晶系的宝石矿物有钻石、石榴石、尖晶石、萤石和方钠石等。

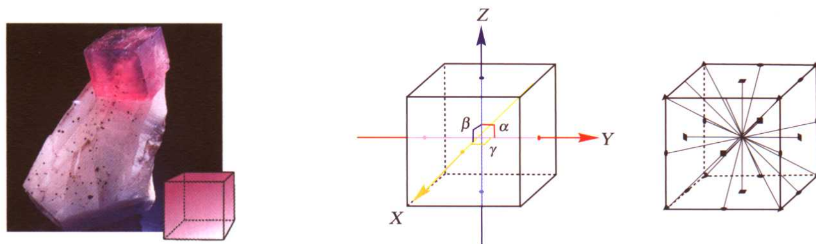


图 1-1-7 等轴晶系的晶体及对称特点

2. 四方晶系

四方晶系有三个相互重直的结晶轴，其中两个水平轴（X轴和Y轴）等长，但与纵轴（Z轴）不等长，即$a=b\neq c$，$\alpha=\beta=\gamma=90°$（如图1-1-8）。该晶系最高对称型L^44L^25PC。该晶系唯一的一个高次轴——四次轴（L^4）相当于纵轴（Z轴），另外两个相互重直的二次轴（L^2）或对称面的法线（若无L^2或P，X、Y轴平行晶棱选取）分别相当于X轴和Y轴。

该晶系的常见单形为四方柱和四方双锥。属于四方晶系的宝石矿物有锆石、金红石、锡石、方柱石和符山石等。

3. 六方晶系

六方晶系的晶体有四个结晶轴，其纵轴（Z轴）与其他三个水平轴（X、Y、U）不

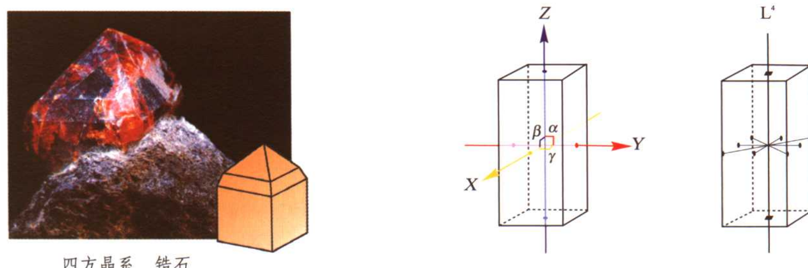


图 1-1-8 四方晶系的晶体及对称特点

相等（长或短）；三个水平轴等长且彼此间呈 120°交角，即 $a = b \neq c$，$\alpha = \beta = 90°$，$\gamma = 120°$（见图 1-1-9）。该晶系最高对称型为 $L^6 6L^2 7PC$。该晶系唯一的一个高次轴——六次轴（L^6）相当于纵轴（Z），三个彼此相交为 120°角的 L^2 或 P 的法线相当于三个水平轴。若无 L^2 或 P，则三个水平轴平行晶棱选取。

该晶系的常见单形为六方柱和六方双锥等。属于六方晶系的宝石矿物有磷灰石、绿柱石和蓝锥矿等。

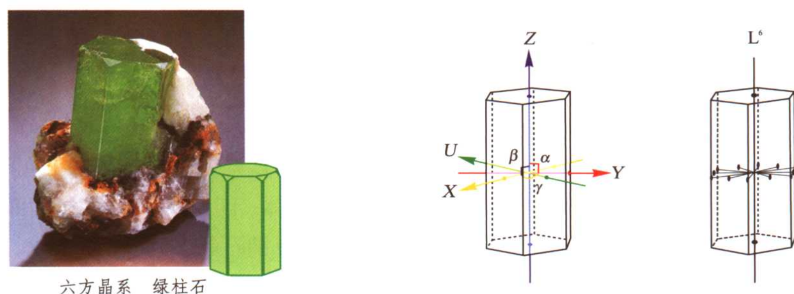


图 1-1-9 六方晶系的晶体及对称特点

4. 三方晶系

三方晶系与六方晶系相同，晶体有四个结晶轴，其纵轴（Z轴）与其他三个水平轴（X、Y、U）不相等（长或短）；三个水平轴等长且彼此间呈 120°交角，即 $a = b \neq c$，$\alpha = \beta = 90°$，$\gamma = 120°$（图 1-1-10）。该晶系最高对称型为 $L^3 3L^2 3PC$。该晶系唯一的一个高次轴——三次轴（L^3）相当于纵轴（Z），三个相交成 120°角的二次轴（L^2）或 P 的法线相当于三个水平轴（X、Y、U），若无 L^2 和 P，则三个横轴平行晶棱选取。

三方晶系的常见单形为三方柱、三方双锥、菱面体和六方柱等（见图 1-1-10）。属于三方

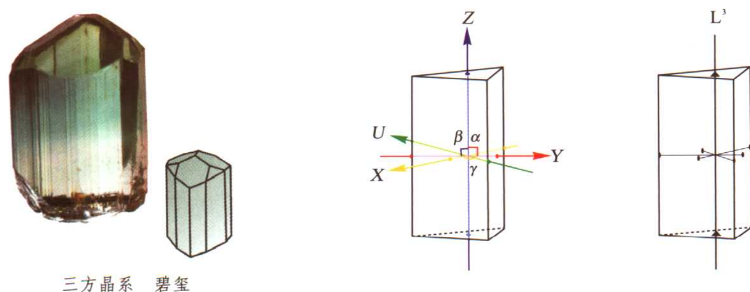


图 1-1-10 三方晶系的晶体及对称特点

晶系的宝石矿物有蓝宝石、红宝石、电气石、石英（水晶、紫晶、黄晶、烟晶、芙蓉石）和菱锰矿等。

5. 斜方晶系

斜方晶系具三个相互垂直但互不相等的结晶轴，即 $a \neq b \neq c$，$\alpha = \beta = \gamma = 90°$。纵轴（Z）处于直立状态，水平轴（X、Y）穿过晶体侧面（见图1-1-11）。该晶系最高对称型 $3L^2 3PC$。三个结晶轴分别相当于三个互相垂直的二次轴（在 $L^2 2P$ 对称型中以 L^2 为 Z 轴，以两个 P 的法线为 X、Y 轴）。

常见单形为斜方柱和斜方双锥等。属于该晶系的宝石矿物有橄榄石、黄玉、黝帘石、堇青石、金绿宝石、红柱石、柱晶石、赛黄晶和顽火辉石等。

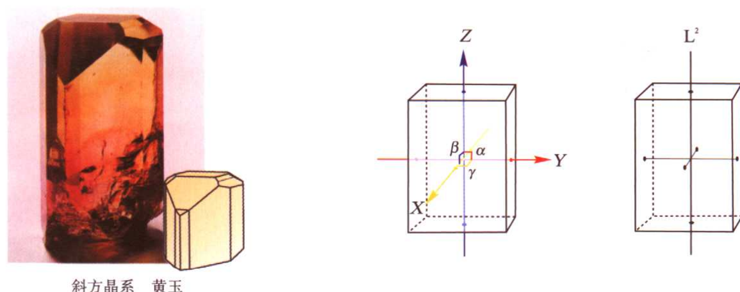


图 1-1-11 斜方晶系的晶体及对称特点

6. 单斜晶系

单斜晶系具三个互不相等的结晶轴，Y 轴垂直于 X 轴和 Z 轴，X 轴斜交于包含 Z 轴和 Y 轴的平面，即 $a \neq b \neq c$，$\alpha = \gamma = 90°$，$\beta > 90°$（见图1-1-12）。这个晶系有时用如下方式说明，即假设一个底面为长方形的柱体，其一边被推而底面留在原地不动，即朝一个方向倾斜。该晶系最高对称型为 L^2PC。唯一的一个二次轴（L^2）或对称面（P）的法线相当于 Y 轴。

常见的单形包括斜方柱和平行双面。属于该晶系的宝玉石有翡翠（硬玉）、透辉石、软玉（透闪石）、孔雀石、正长石及锂辉石等，其中翡翠、软玉、孔雀石呈多晶集合体形式产出。

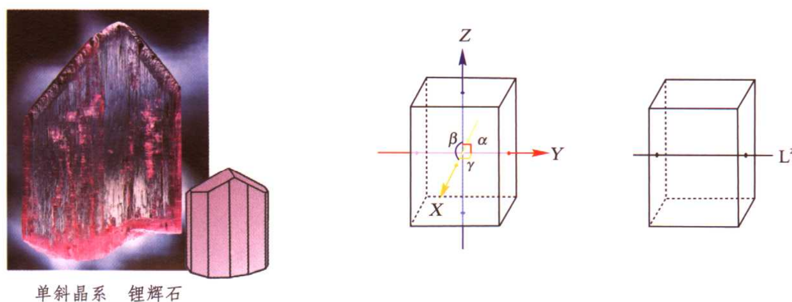


图 1-1-12 单斜晶系的晶体及对称特点

7. 三斜晶系

三斜晶系具三个互不相等且互相斜交的结晶轴，即 $a \neq b \neq c$，$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$（见图1-1-13）。这一晶系有时用如下方式说明，即假设一个长方形底面的柱体，其一个边棱被向侧面和向后推，而底面不动时，柱体就向旁边和向后倾斜。该晶系无对称轴或对称面，只有一

个对称中心（C）或 L^1。以不在同一平面内的三个主要晶棱的方向为 *X*、*Y*、*Z* 轴。

该晶系单形只有平行双面，一个完整的晶体至少由3组平行双面组成。属于该晶系的宝石包括斜长石、绿松石（常以多晶集合体形式产出）、蔷薇辉石和斧石等。

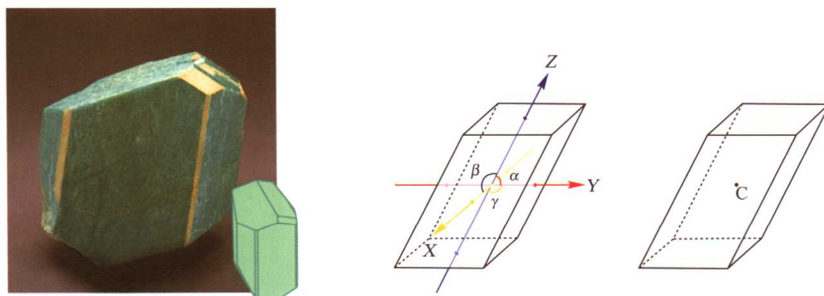


图 1-1-13 三斜晶系的晶体及对称特点

三、常用的基本概念

（一）单形和聚形

晶体形态可以分成两种类型，即单形和聚形。

1. 单形

单形是指由对称要素联系起来的一组晶面的总和。换句话说，单形就是借对称型中全部对称要素的作用可以使它们相互重复的一组晶面，它们具有相同的性质。因此，在理想状态下只有同形等大的一组晶面才可能构成一个单形。根据拓扑学推导，晶体的几何形态共有47种单形，三大晶族可能出现的单形见图 1-1-14。

单形可分为开形和闭形两种。闭形是指其晶面可以包围成一个封闭的空间的单形，如立方体和八面体单形；开形是指其晶面不能包围成一个封闭空间的单形，如柱类、单锥类单形和平行双面等。

2. 聚形

单形的聚合称为聚形。即聚形是由两个或两个以上单形组成的（见图 1-1-15）。但单形的聚合不是任意的，必须是属于同一对称型的单形才能相聚 。

（二）晶面符号

表征晶面空间方位的符号称为晶面符号。一般用晶面在三个（或四个）晶轴上的截距系数的倒数比来表示，常称为米氏符号。在 *X*、*Y*、*Z* 三个轴上的倒数比用 $h:k:l$ 表示，*h*、*k*、*l* 称为晶面指数，晶面指数用小括号括之就是晶面符号，记为（*hkl*）。例如，假设一个晶面在 *X*、*Y*、*Z* 轴上的截距分别为 $2a$、$3b$、$6c$，2、3、6 称为截距系数，其倒数比为 $1/2:1/3:1/6=3:2:1$，那么该晶面的晶面符号就记为（321）。如果晶面与某个晶轴平行，那么它的截距系数就是 ∞，其倒数为 0。由此可知在等轴、四方和斜方晶系中，（100）晶面表示的是垂直 *X* 轴，并与 *Y*、*Z* 轴平行的晶面。在这些晶系中，同样道理我们可以知道（100）、（010）、（001）晶面不但是分别垂直 *X*、*Y*、*Z* 轴的三个晶面，还可以推断这三个晶面之间也是相互垂直的（见图 1-1-16）。

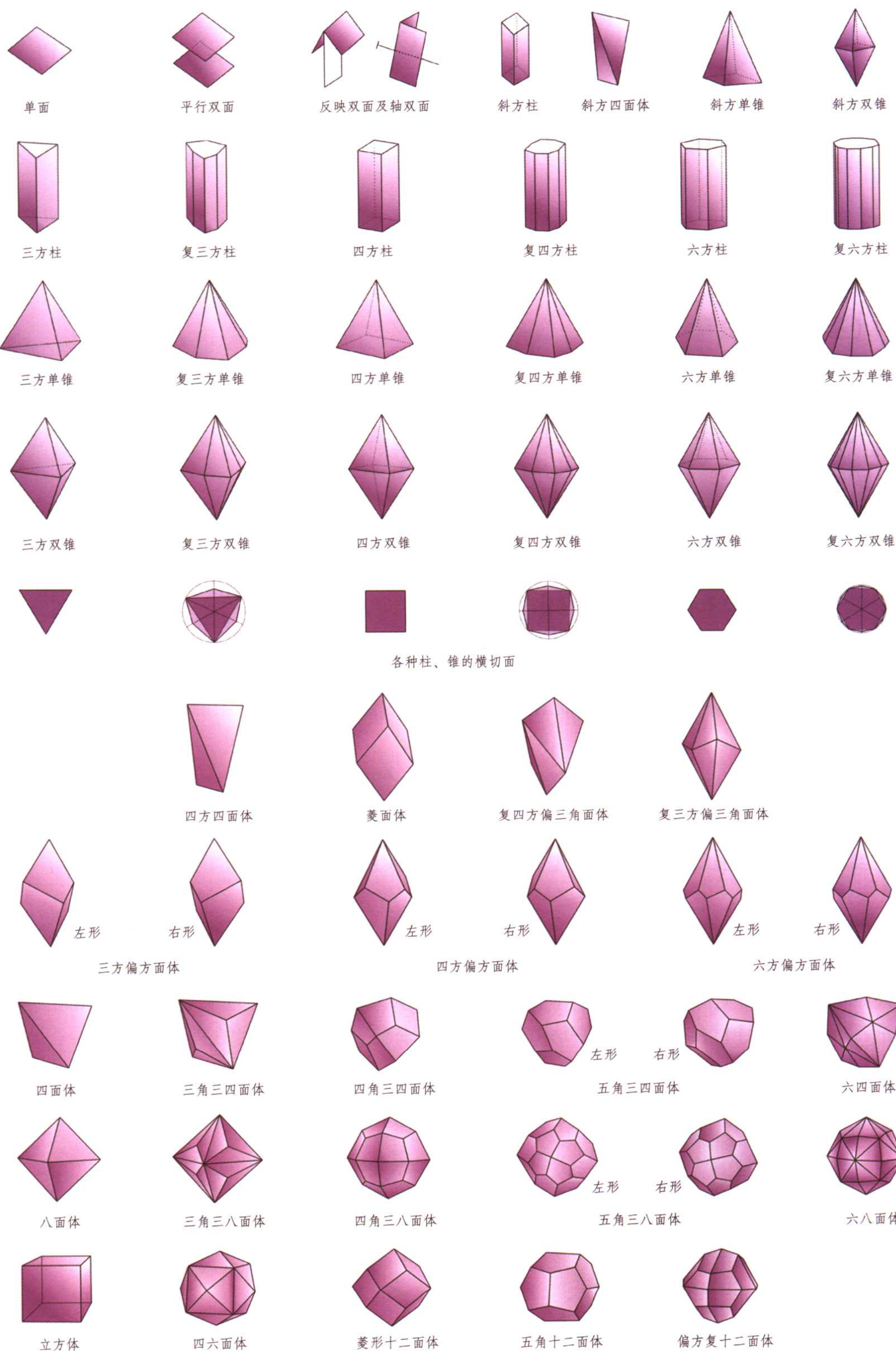


图 1-1-14 四十七种单形

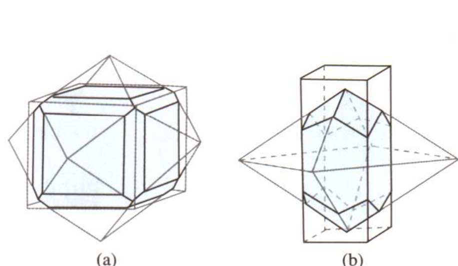


图 1-1-15 立方体、菱形十二面体的聚形(a)和四方柱、四方双锥的聚形(b)

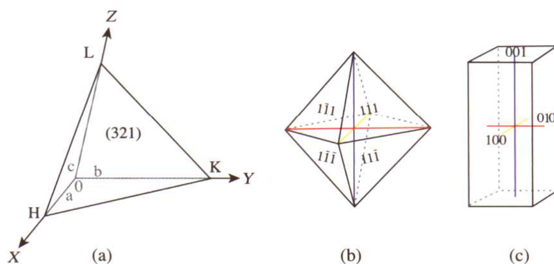


图 1-1-16 晶面符号图解(a)、八面体晶面符号(b)和四方柱、平行双面晶面符号(c)

（三）单形符号

单形符号是指在一个单形中按照一定的原则选择一个晶面，用该晶面的晶面指数加上“{ }”括起来，用来表征组成该单形的一组晶面的结晶学取向的符号。选择代表晶面的一般原则是选择正指数最多的晶面，同时还要遵循先前（X轴指数最大）、次右（Y轴指数次大）、后上（Z轴指数最小）的原则。例如，在等轴晶系中立方体单形由（100）（010）（001）($\bar{1}$00)（0$\bar{1}$0）（00$\bar{1}$）六个晶面组成，根据原则就应该选择（100）晶面的指数作为其单形符号的指数，即立方体的单形符号为{100}（见图 1-1-17(a)）。该符号就代表了由对称要素联系着的六个晶面。同理，该晶系六八面体的单形符号为{321}（图 1-1-17(b)）。三、六方晶系六方柱和菱面体的单形符号分别为{1010}和{1011}。

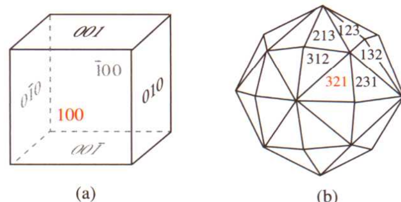


图1-1-17 立方体单形{100}(a)和六八面体单形{321}(b)

第三节　晶体的规则连生

晶体的规则连生可分成两种类型，即平行连生和双晶。

一、平行连生

平行连生指同种晶体的个体彼此平行地连生在一起，连生着的两个晶体相对应的晶面和晶棱都相互平行（见图 1-1-18(a)）。平行连生从外形来看是多晶体的连生，但它们内部的格子构造都是平行而连续的（见图 1-1-18(b)），从这点来看它与单晶没什么差异。

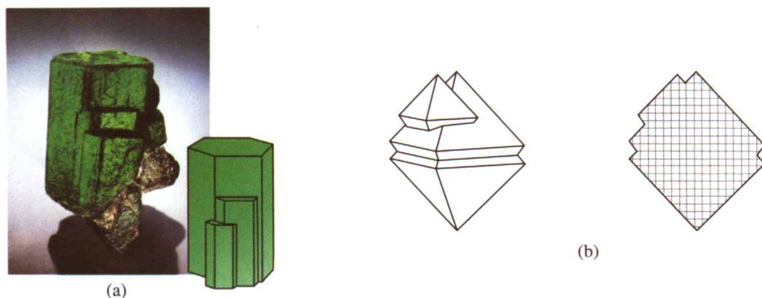


图 1-1-18 绿柱石的平行连生(a)和尖晶石的平行连生(b)

二、双晶

双晶是两个或两个以上的同种晶体按一定的对称规律形成的规则连生，相邻的两个个体相应的面、棱并非平行，但它们可以借助对称操作——反映、旋转或反伸，使两个个体彼此重合或平行。进行对称操作时所借助的辅助几何要素称为双晶要素，包括双晶面、双晶轴和双晶中心。

双晶面是个假想的平面，通过它的反映可使双晶的两个个体重合或平行。

双晶轴是一根假想的直线，双晶中一个个体围绕此直线旋转180°后可与另一个个体平行或重合。

双晶中心是一假想的点，双晶的一个个体通过它的反伸可与另一个个体重合。

1. 双晶类型

根据双晶个体连生的方式，可将双晶分为以下几种类型。

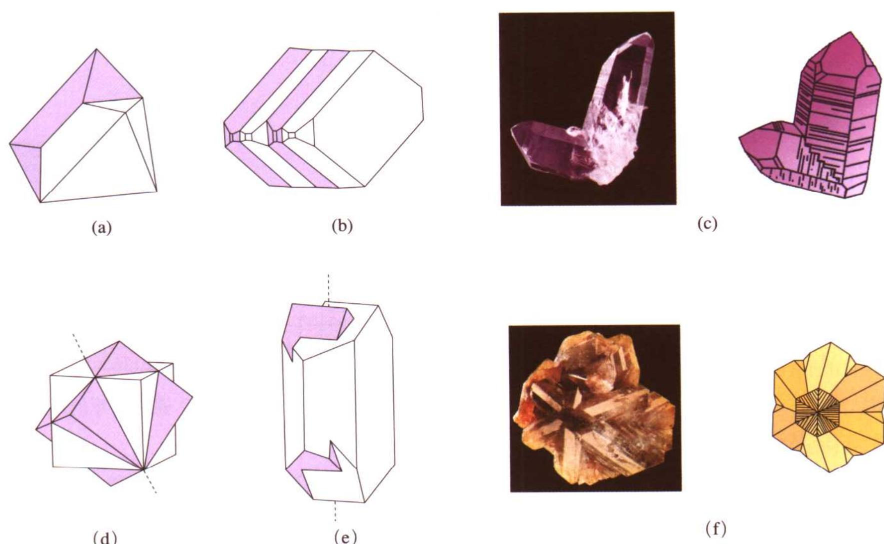


图 1-1-19 各种双晶类型

接触双晶　由两个个体组成，彼此以简单的平面相接触，如尖晶石双晶、水晶膝状双晶（见图 1-1-19(a)(c)）。

聚片双晶　即一系列接触双晶，由多个个体以同一双晶律连生，接合面相互平行，常以薄板状产出，每个薄板与其直接相邻的薄板呈相反方向排列，而相间的薄板则有相同的结构取向，如钠长石的聚片双晶（见图 1-1-19(b)）。

穿插双晶（贯穿双晶）由两个个体相互穿插而形成，如萤石的立方体穿插双晶和长石卡氏双晶（见图 1-1-19(d)(e)）；穿插双晶的接合面往往不是一个连续的平面。

轮式双晶　由两个以上的单体，按同一种双晶律组成，表现为若干组接触双晶或贯穿双晶的组合，各接合面互不平行而依次呈等角度相交，双晶总体呈环状或辐射状，按其单体的个数可分别称为三连晶、四连晶等。如金绿宝石的三连晶（见图 1-1-19(f)）。

2. 双晶的形成方式和形成条件

双晶的形成方式主要有：①在晶体生长过程中形成，它可以由双晶晶芽发育而成，也可

以由小晶体按双晶的位置相互接触连生而成；②在同质多象转变过程中形成，例如化学成分同为SiO_2的高温变体β-石英（六方晶系）的单晶转变成低温变体α-石英（三方晶系）时，经常可以形成双晶；③由机械作用形成，在机械作用的影响下，晶体的一部分沿着一定方向的面网滑动可以形成“机械双晶”，如方解石晶体可在机械作用下沿（$01\bar{1}2$）面网滑动而形成双晶。

双晶的形成条件很复杂，晶体的内部结构是形成双晶的内因，但并不是每一种矿物晶体都可以呈双晶出现，所以从这个角度讲，双晶可能会是宝石矿物的一个鉴别标志。比如钾长石的卡氏双晶、钠长石的聚片双晶、金绿宝石的三连晶、尖晶石的接触双晶等。晶体生长时的外界条件对双晶的形成也起重要作用，理想的生长条件是不利于双晶形成的。所以相比之下，人工宝石的双晶比天然宝石少得多。

第四节　实际晶体的形态与晶面条纹

一、实际晶体的形态

在此之前，我们对晶体形态的讨论都是以理想晶体为对象的。理想晶体是在理想条件下，晶体围绕一个生长中心，严格地按照其空间格子，在三维空间均匀地生长出的晶体（见图1-1-20）。所谓理想晶体，它在外形上应表现为规则的几何多面体，具有面平棱直的特性；同时，在一个晶体上属于同一单形的各个晶面均应同等程度地发育，即具有相同的形状和大小。

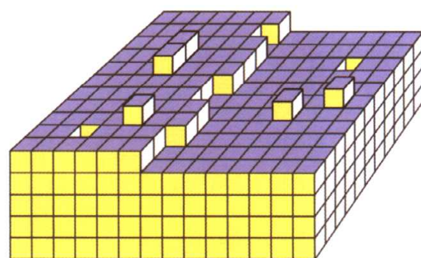


图 1-1-20 晶体理想的层生长

但是实际晶体的生长条件往往很复杂，任何一个晶体在其生长过程中总会不同程度地受到外界因素的干扰。从微观角度来看，晶体并非是严格地按照空间格子规律所形成的均匀整体，以致晶体不能按理想状态发育。一个真实的单晶体，实际上是由许多理想的均匀块段组成的，而这些块段并非严格地相互平行，从而形成了所谓的“镶嵌构造”、“空位”和“位错”等构造缺陷。另外，构造中部分质点的替换及包体的存在也会导致晶体的构造变形（见图 1-1-21），加之晶体在形成之后，还会继续受到应力和后期热液等各种外界因素的影响，更会增加晶体的非理想程度。

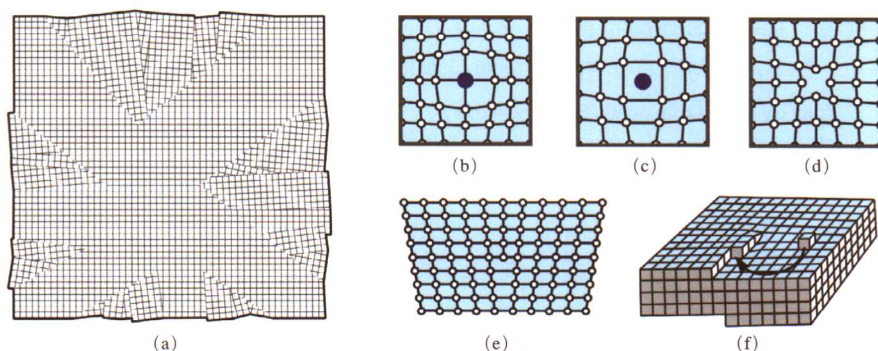


图 1-1-21 晶体内部结构缺陷

(a) 镶嵌构造；(b) 大质点替代小质点；(c) 填隙；(d) 缺位；(e) 刃位错；(f) 螺旋位错

可以说，一切实际晶体内部结构都是非理想的，从外形上也偏离了其理想的晶体形态，所不同的只是它们偏离理想状况的程度不同而已。下面就实际晶体宏观外形上常见的一些现象分别加以说明，了解和掌握晶体的理想和实际形态，以及它们之间的差异，对宝石原料的鉴定至关重要。

1. 歪晶

在实际晶体中歪晶是极其常见的。所谓歪晶是指在非理想环境下生长的偏离本身理想晶形的晶体。歪晶通常表现为同一单形的各晶面发育不等（即不能同形等大），部分晶面甚至可能缺失，但它们的晶面夹角与理想晶体的相应晶面夹角保持相同，这就是所谓的“面角守恒定律”。

例如，α-石英晶体，它在理想生长情况下应形成如图 1-1-22(a)所示的晶形。但实际上它经常呈现如图 1-1-22(b)所示的几种歪晶。可以看出，歪晶中同一单形的晶面的形态及大小虽不相同，但各晶面的交角关系与理想晶体的相同。

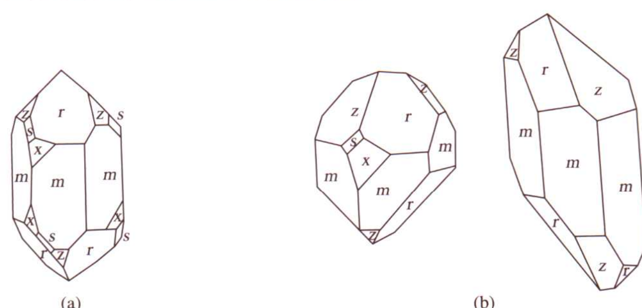


图 1-1-22 α-石英晶体的理想晶形(a)和 α-石英晶体的歪晶(b)

2. 凸晶

各晶面中心均相对凸起而呈曲面、晶棱弯曲而呈弧线的晶体称为凸晶。所有凸晶都是由几何多面体趋向于球面体的过渡形态。图 1-1-23(a)所示为金刚石的菱形十二面体凸晶。凸晶是由于晶体形成后又遭溶解而形成的，因为位于角顶和晶棱上的质点的自由能较位于晶面上者的大，角顶及晶棱部位与溶剂的接触几率也大，因而，它们的溶解速度也较晶面中心为快，从而产生凸晶。

3. 弯晶

指整体呈弯曲形态的晶体。弯晶与凸晶的差别在于：凸晶的所有晶面都是向外凸出的，而弯晶当其一侧晶面向外凸出时，相反一侧的晶面就向内凹进，如白云石的马鞍状弯曲晶体，如图 1-1-23(b)所示。

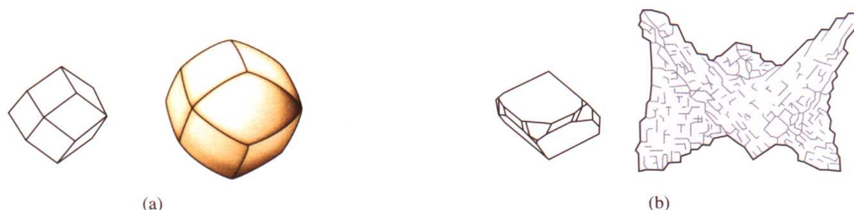


图 1-1-23 金刚石的菱形十二面体凸晶(a)和白云石的马鞍状弯晶(b)

二、晶面条纹

晶面上由一系列所谓的邻接面构成的直线条纹，称为晶面条纹。晶面条纹是晶体在生长过程中形成的，在许多晶体上可以看到。例如石英晶体的柱面上常具横纹；电气石晶体柱面上则常具纵纹（见图 1-1-24(a)）；黄铁矿立方体晶面上也常有条纹，其三对平行晶面上的条纹方向相互垂直（见图 1-1-24(b)）。

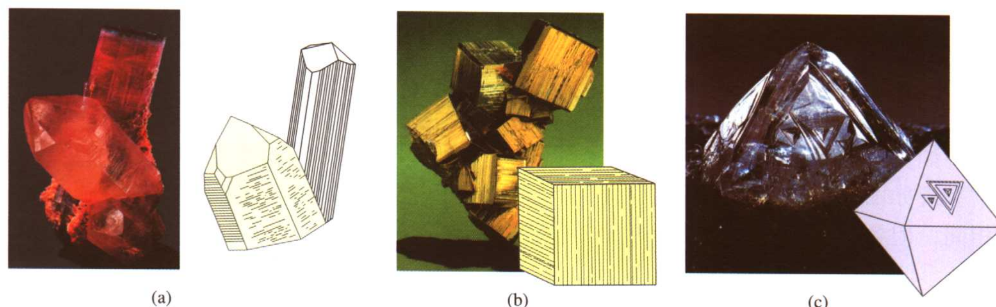


图 1-1-24 晶体的晶面条纹及蚀象

(a)石英、电气石晶体；(b)黄铁矿晶体；(c)钻石晶体

晶面条纹是由邻接面的细窄条带与主要晶面呈阶梯状反复交替生长而造成的。所谓邻接面就是晶体中某些次要晶面，它们与主晶面有一小角度差异，并与主晶面属于不同单形。如α-石英的晶面横纹是由六方柱与菱面体的狭长晶面交替生长形成的；黄铁矿的晶面条纹则是由立方体与五角十二面体两种单形的晶面交互生长形成的。

除晶面条纹外，在生长过程中晶体表面还可遗留下生长层、螺旋纹和生长丘等表面特征。另外，在晶体形成之后，由于遭受溶蚀还会在晶体表面形成凹坑（溶蚀坑），凹坑的形状、方向和分布受内部质点排列方式所控制，能反映出晶体的对称性，它可作为鉴定晶体原石的依据。如钻石表面的等边三角形凹坑（见图 1-1-24(c)）。

三、结晶习性

结晶习性指矿物通常呈现的晶体形态，它包括两方面。

一是同种晶体所习见的单形。一种晶体常具有自己的晶体习性，即晶体常呈现某种或某几种单形。例如，尖晶石习见的单形为八面体；萤石在岩浆岩和伟晶岩中常呈八面体，在高温热液中形成的常呈菱形十二面体，在低温热液中形成的常呈立方体。

二是晶体在三维空间延伸的比例。根据晶体在三维空间延伸的情况，可大致分为三种类型：①三向等长，指晶体在三维空间的发育程度基本相等，呈现出粒状或等轴状，如石榴石（图 1-1-25(a)）、黄铁矿和石英岩中的石英晶体等；②二向延长，指晶体在一个方向上发育较差，而呈板状或片状，如重晶石（图 1-1-25(b)）和石膏等；③一向延长，指晶体在一个方向上发育特别快，而呈现柱状、长柱状、针状或纤维状，如电气石（图 1-1-25(c)）、绿柱石、水晶和以包体出现的针状金红石等。

由此可见，矿物晶体所表现的晶体习性是其内部和外部两方面因素共同作用的结果。内部因素是指其自身的内部结构（格子构造），外部因素是指晶体生长时有关组分的浓度、杂质、温压及空间条件等。

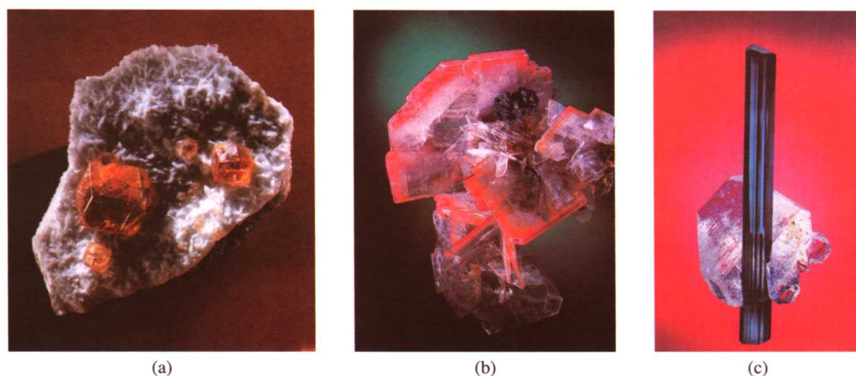


图 1-1-25 粒状石榴石(a)、板状重晶石(b)和长柱状电气石(c)

四、同种宝石矿物的集合体形态

同种宝石矿物多个单体聚集在一起的集合体形态可以说是千姿百态。一般来讲，单体成粒状、片状和柱状矿物的集合体就分别称之为粒状集合体、片状集合体和柱状集合体。除此之外还有一些成特殊形态的集合体，宝石中常见的有如下几种。

放射状集合体　指呈长柱状或针状的矿物单体，它们以一点为中心，向外成放射状排列而形成的集合体，例如红柱石的放射状集合体，又称为菊花石（见图 1-1-26(a)）。

纤维状集合体　指纤维状的矿物单体，其延长方向相互平行密集排列所形成的集合体，如纤维状石膏、阳起石猫眼等（见图 1-1-26(b)）。

晶簇　指以洞壁或裂隙壁作为共同基地而生长的单晶体群所组成的集合体，如石英晶簇（见图 1-1-26(c)）和方解石晶簇。

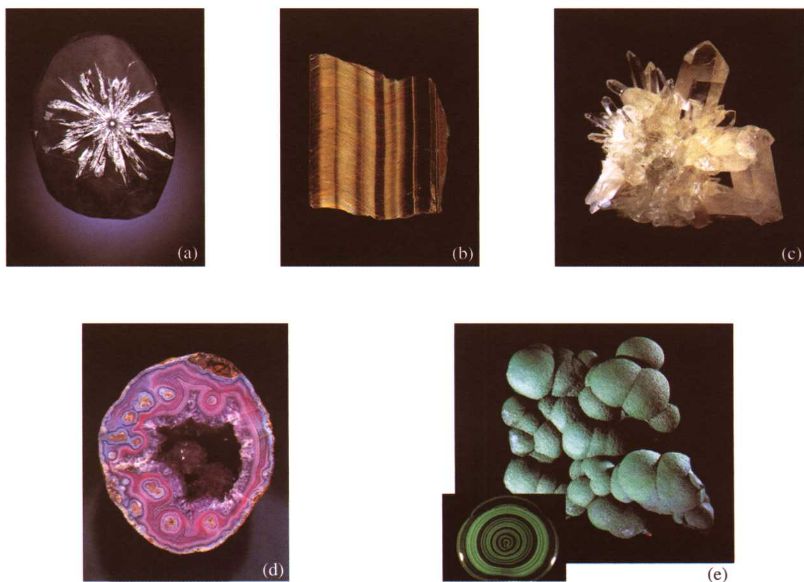


图 1-1-26 矿物的集合体形态

(a)放射状集合体——菊花石；(b)纤维状集合体——虎晶石；(c)晶簇——水晶；
(d)晶腺——玛瑙；(e)葡萄状集合体——孔雀石

晶腺　指具有同心层状构造，且外形近似呈球状的矿物集合体，如胶体成因的条带状玛瑙（见图 1-1-26(d)）。

葡萄状、肾状集合体　指胶体成因的逐层堆积而成的，外形呈钟乳状或肾状的集合体，如孔雀石葡萄状集合体（见图1-1-26(e)）（其横断面常具层状和放射状构造，也称其具皮壳状构造）和赤铁矿肾状集合体等。

第五节　宝石矿床的成因

宝石作为地质作用的产物，其形成的地质条件非常复杂。根据地质作用的性质和能量来源，可将宝石矿床的成因分为内生成矿作用、外生成矿作用和变质成矿作用。

内生成矿作用　指与岩浆活动和火山喷发有关的一系列成矿作用。主要有岩浆成矿作用（形成的宝石如钻石、镁铝榴石、红宝石、蓝宝石和橄榄石等）、伟晶岩成矿作用（形成的宝石如红宝石、蓝宝石、石榴石、水晶和尖晶石等）、热液成矿作用（形成的宝石如水晶、祖母绿、玛瑙和黄玉等）和火山成矿作用（形成的宝石如黑耀岩等）。

外生成矿作用　指在近地表由于太阳、水、风、空气和有机体作用所形成的成矿作用。其形成的矿床类型主要包括风化壳型、砂矿型和成岩型，风化壳型和砂矿型又称为次生矿床，如欧泊、玉髓、绿松石、孔雀石、钻石、红蓝宝石、翡翠、软玉、绿柱石、石榴石等。

变质成矿作用　指已经形成的矿物群体（岩石或矿床）在地壳内应力作用下（如构造运动引起的温度、压力、岩浆、热液等的作用），使其物质矿物成分、矿物组合、结构和构造发生变化而形成新的矿物、岩石或矿床的成矿作用，如翡翠、石榴石、碧玉、红宝石、蓝宝石、硅化木和月光石等。

第二章　宝石矿物的化学成分

第一节　宝石矿物化学成分的特点

一、宝石矿物晶体化学的分类

从晶体化学的角度，宝石矿物可划分为含氧盐类、氧化物类和自然元素类等。

（一）含氧盐类

大部分宝石矿物属于含氧盐类，其中又以硅酸盐类矿物居多。据统计，宝石矿物中硅酸盐类矿物约占一半，还有少量宝石矿物属磷酸盐类。

1. 硅酸盐类

在硅酸盐类矿物的晶体结构中，硅氧络阴离子配位的四面体$[SiO_4]^{4-}$是它们的基本构造单元。硅氧四面体在结构中可以孤立地存在，也可以以其角顶相互连接而形成多种复杂的络阴离子（基型）。根据硅氧四面体在晶体结构中的连接方式，可分成以下几种。

(1) 岛状基型

表现为单个硅氧四面体$[SiO_4]^{4-}$或每两个四面体以一个公共角顶相连组成双四面体在结构中独立存在。它们彼此之间靠其他金属阳离子（如Zr^{4+}、Fe^{2+}、Mg^{2+}、Ca^{2+}等）来连接，它们之间并不相连，因而呈独立的岛状。属于此类的宝石矿物有锆石$ZrSiO_4$、橄榄石$(Mg,Fe)_2SiO_4$、石榴石$A_3B_2(SiO_4)_3$（其中A为Mg^{2+}、Fe^{2+}、Ca^{2+}、Mn^{2+}等二价阳离子，B为Al^{3+}、Fe^{3+}、Cr^{3+}等三价阳离子）、黄玉$Al_2SiO_4(F, OH)_2$、榍石$CaTi(SiO_4)O$、十字石$Fe_2Al_9(SiO_4)_4O_6(O,OH)_2$和绿帘石$Ca_2FeAl_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$等。

(2) 环状基型

结构中包含由三个、四个或六个$[SiO_4]^{4-}$硅氧四面体所组成的封闭的环（分别叫三方、四方和六方环）。环内每一个四面体均以两个角顶分别与相邻的两个四面体连接，而环与环之间则靠其他金属阳离子连接。属于此类的宝石矿物有蓝锥矿$BaTiSi_3O_9$（三方环）、绿柱石$Be_3Al_2Si_6O_{18}$（六方环）、堇青石$(Mg,Fe)_2Al_3AlSi_5O_{18}$（六方环）和电气石（六方环）等。

(3) 链状基型

指每一$[SiO_4]^{4-}$四面体以两个角顶分别与相邻的两个$[SiO_4]^{4-}$四面体连成一条无限延伸的链，链与链之间通过其他金属阳离子来连接。属于此类的宝玉石有翡翠、软玉、透辉石和蔷薇辉石等。

(4) 架状基型

每个$[SiO_4]^{4-}$四面体均以其全部的四个角顶与相邻的四面体连接，组成在三维空间中无限扩展的骨架。属于此类的宝石矿物有月光石、日光石、拉长石、天河石和方柱石等。

2. 磷酸盐类

该类含有磷酸根$[PO_4]^{3-}$阴离子。由于半径较大，因而要求半径较大的阳离子（如Ca^{2+}、Pb^{2+}等）与之结合才能形成稳定的磷酸盐。此类矿物成分复杂，往往有附加阴离子。属于此类的宝石矿物有磷灰石$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$和绿松石$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$等。

（二）氧化物类

氧化物是一系列金属和非金属元素与氧阴离子O^{2-}化合（以离子键为主）而成的化合物，

其中包括含水氧化物。这些金属和非金属元素主要有Si、Al、Fe、Mn、Ti、Cr等。阴离子一般按立方或六方最紧密堆积，而阳离子则充填于其四面体或八面体空隙中。属于简单氧化物的宝石有刚玉矿物（Al_2O_3）的红宝石、蓝宝石，SiO_2类矿物（SiO_2和$SiO_2 \cdot nH_2O$）的紫晶、黄晶、水晶、烟晶、芙蓉石、玉髓、欧泊、蛋白石及金红石（TiO_2）等。属于复杂氧化物的宝石矿物有尖晶石$(Mg, Fe)Al_2O_4$和金绿宝石$BeAl_2O_4$等。

（三）自然元素类

有些金属和元素可呈单质独立出现。属于此类的宝石矿物有钻石（成分为C）等。

二、宝石矿物的化学组成及其变化

宝石矿物的化学成分和晶体结构是决定一个宝石矿物种的两个最基本的因素。只考虑其化学成分，不考虑结构不能确定一个宝石种；同样，只考虑其结构而不考虑化学成分也不能确定一个宝石种。例如，化学成分为碳（C）的固体，只有当C以立方对称排列时，才能确定其为钻石或金刚石；而如果C以六方对称排列时，只能确定为石墨。同样，都具立方面心格子构造的固体，化学成分为NaCl时，其为石盐，而化学成分为CaF_2时，只能确定其为萤石。因此，化学成分是宝石矿物存在的物质基础，晶体结构是其存在的表现形式，二者是相互依存的，离开一方，另一方也就不再存在。很显然，矿物的化学成分和结构是决定宝石矿物一切性质的最基本因素。

作为一个宝石矿物种，其化学成分可分为主要化学成分和次要或微量成分。主要化学成分是指能保持其结构的化学成分，如果缺某个成分，其结构便不能存在或保持。但在保持其结构和物化性质基本不变的条件下，主要化学成分是可以有一定变化的，或者说它可以有一个变化范围。因此我们说，宝石矿物的化学组成并不是固定不变的，而是可以有一定的变化幅度的。如刚玉宝石矿物，是具三方对称的Al_2O_3，不含任何次要或微量成分时，呈无色透明，Al和O均为其主要化学成分。但Al可以被少量的Cr所替代，而呈现红色，这时的Cr就可称为刚玉的次要化学成分或微量元素。但Cr的替代量是有限的，更不能全部替代Al，否则就不能保持其三方对称的结构，刚玉也就不能存在了。引起矿物化学成分变化的原因很多，主要是类质同象替代（下一节将详述）和一些微细组分的机械混入（可以以显微包体形式存在）。对宝石矿物而言，杂质组分的介入是极其重要的，它可使宝石矿物呈现各种漂亮迷人的颜色（如祖母绿因含有微量Cr元素而呈现美丽的翠绿色），也可使部分宝石矿物具有特殊的光学效应（如星光效应和猫眼效应等）。

三、宝石矿物中的水

许多宝石矿物含有水，根据矿物中水的存在形式及它们在晶体结构中的作用，可以把水分成以下几大类。

1. 吸附水

吸附水不参加晶格，是渗入在矿物集合体中，为矿物颗粒间隙或裂隙表面机械吸附的中性水分子（H_2O）。吸附水不属于矿物的化学成分，不写入化学式。它们在矿物中的含量不定，随温度和湿度变化而不同。常压下温度达到100～110℃时，吸附水就基本上从矿物中逸出，而不破坏晶格。吸附水可以呈气态、液态或固态。

另外，水胶凝体中含有一种特殊类型的吸附水，称为胶体水。它被微弱的联结力固着在微粒的表面，通常计入矿物的化学组成，但其含量变化很大。例如蛋白石，其分子式为

$SiO_2 \cdot nH_2O$（n为H_2O分子数，不固定）。

2. 结晶水

结晶水以中性水分子（H_2O）存在于矿物中，在晶格中占有固定的位置，起着构造单位的作用，是矿物化学组成的一部分。水分子的数量与矿物其他成分之间有固定的比例。结晶水从矿物中逸出的温度一般不超过600℃，通常为100～200℃。当结晶水失去时，晶体的结构将被破坏并形成新的结构。

比如绿松石就是一种含结晶水的磷酸盐，分子式为$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$,其中$H_2O$含量达19.47%。

3. 结构水

结构水（也称化合水）是以OH^-、H^+、H_3O^+等离子形式参加矿物晶格的“水”，其中OH^-形式最为常见。结构水在晶格中占有固定的位置，在组成上具有确定的比例。由于与其他质点有较强的键力联系，结构水需要较高的温度（通常在600～1000℃之间）才能逸出。当其逸出后，晶体结构完全破坏。

许多宝石矿物都含有这种结构水，例如：碧玺$NaMg_3Al_6(Si_6O_{18})(BO_3)_3(OH)_4$、十字石$Fe_2Al_9(SiO_4)_4O_6(O,OH)_2$、黄玉$Al_2SiO_4(OH,F)_2$和磷灰石$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$等。

此外，在堇青石和绿柱石平行Z轴的结构通道中，常会有一定数量的水，含量有一定的变化。其存在形式和结构状态到目前仍不太清楚。它是一种特殊类型的结构水，它的失去需要很高温度。

第二节　类质同象对宝石化学成分的影响

一、类质同象的概念

正如前节所述，矿物化学成分在一定范围内是可以变化的。这主要是由于两方面的原因，一是类质同象替代；二是外来物质机械混入，即含有不进入晶格的包体。所谓类质同象，是指在晶体结构中部分质点被其他性质类似的质点所替代，仅使晶格常数和物理化学性质发生不大的变化，而晶体结构保持不变的现象。

如果相互替代的质点可以任意比例替代，即替代是无限的，则称为完全类质同象，此时它们可以形成一个成分连续变化的类质同象系列。例如，橄榄石$(Mg,Fe)_2(SiO_4)$中的$Mg^{2+} \leftrightharpoons Fe^{2+}$之间的替代，当二者都存在时，可统称为橄榄石；当Mg全部被Fe替代时，便成为铁橄榄石$Fe_2(SiO_4)$，Fe全部被Mg替代时，就成为镁橄榄石$Mg_2(SiO_4)$。又如，斜长石（由钙长石分子和钠长石分子组成）中$Na^++Si^{4+} \leftrightharpoons Ca^{2+}+Al^{3+}$的替代，都可以在一定条件下形成完全类质同象。

如果质点替代只局限于一个有限的范围内，则称为不完全类质同象。例如闪锌矿（ZnS）中的Zn^{2+}可部分地（最多26%）被Fe^{2+}所替代，在这种情况下，Fe^{2+}被称为类质同象混入物。此外，当相互替代的质点电价相同时（如$Na^+ \leftrightharpoons K^+$，$Fe^{2+} \leftrightharpoons Mg^{2+}$）称为等价类质同象，如果相互替代的质点电价不同（如Al^{3+}替代Si^{4+}）则称为异价类质同象，当然后者必须有电价的补偿以维持电价平衡。比如在钠长石（$NaAlSi_3O_8$）－钙长石（$CaAl_2Si_2O_8$）系列中，Al^{3+}与Si^{4+}之间的替代和Na^+与Ca^{2+}之间的替代都是异价的，但由于这两种替代同时进行，所以替代前后总电价仍是平衡的。

二、类质同象的条件

形成类质同象的条件，一方面取决于质点本身的性质，如原子或离子半径大小、电价、离子类型、化学键性等；另一方面也取决于外部条件，如温度、压力和介质条件等。

1. 质点大小相近

相互替代的原子或离子必须有近似的半径。一般而言，如果相互替代的质点半径相差越小，相互替代的能力越强，替换量也越大；反之则越弱、越小。在异价类质同象替代中，在元素周期表上对角线方向的阳离子半径近于相等，容易发生替代，从而存在着所谓的对角线规则（一般都是右下方的高价阳离子替代左上方的低价阳离子）（见表 1-2-1）。

表 1-2-1 异价类质同象替代的对角线规律

Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
Li 0.82						
Na 1.10	Mg 0.80	Al 0.61				
K 1.46	Ca 1.08	Se 0.83	Ti 0.69			
Rb 1.57	Sr 1.21	Y 0.98	Zr 0.80	Nb 0.72	Mo 0.68	
Cs 1.78	Ba 1.44	TR 1.13~0.94	Hf 0.79	Ta 0.72	W 0.68	Re 0.65

2. 电价的总和平衡

在离子化合物中，类质同象替代前后离子电价总和应保持平衡，因为电价不平衡将引起晶体结构的破坏。对于异价类质同象，电价的平衡可以通过下列方式完成：①电价较高的阳离子被数量较多的低价阳离子替代（如云母中 $3Mg^{2+}$ 替代 $2Al^{3+}$），或者相反；②成对替代，即高价阳离子替代低价阳离子的同时另有其他低价阳离子替代高价阳离子，使离子总电位达到平衡，如斜长石中 $Na^{+}+Si^{4+} \rightarrow Ca^{2+}+Al^{3+}$; 蓝宝石中 $Fe^{2+}+Ti^{4+} \rightarrow 2Al^{3+}$ 等；③高价阳离子替代低价阳离子伴随高价阴离子替代低价阴离子，如磷灰石 $(Ca^{2+},Ce^{3+})_5(PO_4)_3(F,O)$ 中 Ce^{3+} 替代 Ca^{2+}，伴随 O^{2-} 替代 F^{-}；④低价阳离子替代高价阳高子，所亏损的电价由附加阳离子平衡，如绿松石中 $Li^{+} \rightarrow Be^{2+}$、$Fe^{2+} \rightarrow Al^{3+}$ 所亏损的正电荷分别由半径较大的 Cs^{+} 和 Na^{+} 进入绿松石结构通道中平衡。

3. 相同的化学键性

类质同象替代一般是在同种离子类型之间发生的，如果离子类型不同则很难发生类质同象。因为离子类型不同，极化力强弱各异。惰性气体型离子易形成离子键，而铜型离子则趋向于共价键结合。例如在硅酸盐宝石矿物中，Al—O 之间和 Si—O 之间都主要是共价键，因而经常出现 Al^{3+} 对 Si^{4+} 的替代。又如 Ca^{2+}（惰性气体型）和 Hg^{2+}（铜型）虽然电价相同、半径相似，但因离子类型不同，所形成键性各异，所以它们之间不产生类质同象替代，这就是为什么在硅酸盐中很难发现 Ca⇋Hg 等类质同象的原因。

4. 热力学条件

介质的温度、压力和组分浓度等外部条件对类质同象的发生也起重要作用。一般来说，温度升高时类质同象替代的程度增大，温度下降则类质同象替代减弱。如在高温下碱性长石

中K和Na可以互呈类质同象替代而形成$(K, Na)AlSi_3O_8$或$(Na,K)AlSi_3O_8$固溶体；但在低温下则发生固溶体分离，而形成由钾长石$KAlSi_3O_8$和钠长石$NaAlSi_3O_8$两种矿物组成的条纹长石。压力的增加往往会限制类质同象替代的范围，并促使固溶体分离。组分的浓度对类质同象也会有影响，如在磷灰石的形成过程中，若P_2O_5的浓度很大，而Ca含量不足，则Sr和Ce族元素可以进入晶格占据Ca的位置，从而使磷灰石中聚集相当大量的稀有或分散元素。

三、类质同象对宝石矿物物理性质的影响

1. 对宝石矿物颜色的影响

类质同象对于宝石矿物具有非常重要的意义，因为大部分宝石矿物是由于少量类质同象混入物而呈现各种美丽诱人颜色的。现举几个具代表性的实例。

（1）刚玉

纯净的刚玉矿物是无色的，其化学成分为Al_2O_3，当其中Al^{3+}被微量Cr^{3+}替代（即$Cr^{3+} \rightarrow Al^{3+}$）时则呈现玫瑰红—红色色调，称红宝石；当其中$Al^{3+}$被微量$Ti^{4+}$和$Fe^{2+}$等替代（即$Ti^{4+} + Fe^{2+} \rightarrow 2Al^{3+}$）时则呈现漂亮的蓝色，称蓝宝石。$Fe^{2+}$和$Ti^{4+}$含量越高则蓝宝石的蓝色越深，反之越浅。我国山东蓝宝石的深蓝色就是其中含有过多的Fe所致。

（2）绿柱石

绿柱石的化学成分为$Be_3Al_2Si_6O_{18}$，纯净的绿柱石是无色的。当绿柱石的Be、Al被不同元素替代时，可以呈现不同的颜色，如绿色、黄绿色、蓝色、黄色和粉红色等。当绿柱石中含有Cr、V等元素时，就呈现美丽的翠绿色，这就是祖母绿；当含有Fe和Sc等元素时，呈现漂亮的蓝色，这就是海蓝宝石；当含有Cs、Mn等元素时则呈现粉红色—红色；当含有Fe或U时则呈现黄色色调或黄绿色色调。

（3）电气石

电气石的化学成分为$(Na,Ca)R_3Al_6Si_6O_{18}(O,OH,F)_4$，式中R主要为Mg、Fe、Cr、Li、Al、Mn等，这些元素之间复杂的类质同象替代导致了电气石的化学成分十分复杂，也导致了电气石具有各种各样的颜色。在电气石化学组成中，Mg^{2+}—Fe^{2+}之间和Fe^{2+}—Li^{+}、Al^{3+}之间呈完全类质同象，其中$3Fe^{2+} \rightarrow 2Al^{3+}+Li^{+}$替代的负电荷不足，由附加阴离子中$OH^{-}$被$O^{2-}$替代来补偿；Mg和Li之间的替代，以及Mg、Fe和Cr、Mn之间的替代都是不完全的。当电气石化学组成中R位以Fe为主时，则电气石呈深蓝色甚至黑色；当R位以Mg^{2+}为主时则电气石呈黄色—褐色；当电气石富含Li和Mn时则呈玫瑰色或浅蓝色；当电气石富含Cr时则呈深绿色。

（4）翡翠

翡翠主要由硬玉矿物组成，硬玉的化学组成为$NaAlSi_2O_6$。纯净的硬玉岩是白色的，但当硬玉化学组成中的Al被不同元素替代时，则显示不同的颜色：①当硬玉化学组成中的Al被Cr、V替代时，则翡翠呈诱人的绿色，绿色的深浅与替代程度有关，当Cr的质量分数在1%～2%之间时，翡翠的颜色最美丽，呈浓艳的绿色，且为半透明，但当Cr含量很高时，翡翠则呈不透明的黑绿色，即所谓的干青种翡翠；②当硬玉化学组成中的Al^{3+}被Fe^{3+}替代时，则翡翠呈发暗的绿色（不像含Cr翡翠那么鲜艳、明快，而是呆板、缺乏灵气），若Fe^{3+}只是少量替代Al^{3+}，翡翠呈浅绿色，若Fe^{3+}大量替代Al^{3+}，则翡翠呈暗绿色，甚至墨绿色；③当硬玉化学组成中的Al^{3+}同时被Fe^{3+}和Cr^{3+}替代时，翡翠的颜色则视Fe^{3+}和Cr^{3+}相对比例而定。Cr^{3+}较多则绿色鲜艳一些，Fe^{3+}较多时则绿色偏暗一些；④当硬玉化学组成中的Al^{3+}同时被Fe^{2+}和Fe^{3+}替代时，则翡翠呈紫色，也有人认为翡翠的紫色是由于含有Mn或K造成的。

2. 对宝石矿物折射率、相对密度和硬度的影响

类质同象不但使宝石矿物的化学成分发生一定程度的改变，而且也在一定程度上影响它的折射率和相对密度等物理性质。现举几个实例加以说明。

（1）电气石

如前所述，电气石的颜色基本上受类质同象的种类和程度的影响，实际上电气石的相对密度和折射率也与类质同象有密切联系。镁电气石 $NaMg_3Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$ 中的 Mg^{2+} 和锂电气石 $Na(Li,Al)_3Al_6O_{18}(BO_3)_3(OH,F)_4$ 中的 Li^+、Al^{3+} 都有可能被 Mn^{2+} 和 Fe^{2+} 替代。研究表明，随着电气石成分中Mn、Fe的增加，电气石的相对密度（3.03～3.25）、折射率（n_o=1.635～1.675，n_e=1.610～1.650）和双折射率（0.016～0.033）都随之增大。

（2）绿柱石

在绿柱石 $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ 组成中，当Be被Li替代（即 $Li^+ \rightarrow Be^{2+}$）时，所亏损的电荷主要由半径较大的 Cs^+ 进入绿柱石的结构通道来平衡。含Cs越高，则绿柱石的相对密度（2.6～2.9）、折射率（n_o=1.566～1.602，n_e=1.562～1.594）和双折射率（0.004～0.009）也越高，Cs（Cs_2O）的质量分数最高可达4.13%。

（3）橄榄石

在橄榄石 $(Mg,Fe)_2SiO_4$ 组成中，Fe和Mg可以呈完全类质同象（$Mg^{2+} \leftrightharpoons Fe^{2+}$），随着其中Fe含量增加，不但橄榄石的颜色加深，而且它的相对密度（3.32～3.37）和折射率（1.65～1.69）也逐渐增大，摩氏硬度（H_M=6.5～7）也略有增加。

（4）黄玉

在黄玉 $Al_2SiO_4(F,OH)_2$ 的化学组成中，F^- 作为附加阴离子有时可被 OH^- 所替代，最高时可达F含量的1/3（与黄玉形成时的温度有关）。研究表明，随着 OH^- 对 F^- 替代程度的增加，黄玉的相对密度（3.5～3.6）逐渐减小，折射率（1.603～1.638）逐渐增大。

第三节　宝石中的包体

天然宝石是在复杂的地质环境中形成的，外来杂质的混入、成矿溶液的浓度及温度压力的变化都会对宝石的生长产生影响，同时也会在宝石的内部留下一定的痕迹，这就是我们常说的包体。宝石中包体的形成与矿物包体形成一样，往往与晶体生长过程中产生的晶体缺陷有关。晶体中缺陷的形成则和晶体的结构类型、晶核的数量、晶体的生长速度及环境（如温度、压力、介质浓度等）密切相关。19世纪初，人们就开始研究矿物中的包体，只是到了19世纪末和20世纪初，由于合成红宝石和蓝宝石的出现，人们才意识到宝石内部的包体的重要性。

研究宝石的包体极为重要，它可以帮助我们鉴定宝石品种、区分天然和合成宝石、判别宝石的优化处理、评价宝石的品质和了解宝石的成因甚至产地。

一、包体的概念

包体的概念来源于矿物学，在宝石学中给予了沿用和扩展。

宝石包体的概念有狭义和广义之分。狭义包体的概念是指宝石矿物生长过程中被包裹在晶格缺陷中的原始成矿熔浆，其至今仍存在于宝石矿物中，并与主体矿物有相的界线。

广义包体的概念是指影响宝石矿物整体均一性的所有特征。即除狭义包体外，还包括宝石的结构特征和物理特性的差异，如带状结构、色带、双晶、断口和解理，以及与内部结构

有关的表面特征等。宝石学中多涵盖的是广义包体概念。

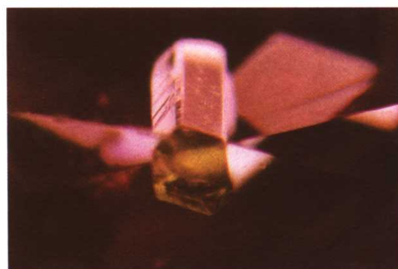
二、宝石中包体的分类

（一）依据包体与宝石形成的相对时间分类

依据包体与宝石形成的相对时间，可将包体分为原生包体、同生包体和次生包体。

1. 原生包体

原生包体是指比宝石形成更早，在宝石形成之前就已结晶或存在的一些物质，在宝石晶体形成过程中被包裹到宝石内部。原生包体的形成主要与介质环境（如成矿溶液成分和浓度的变化）及晶体的快速生长有关。宝石中的原生包体都是固态的，它可以与寄主矿物同种，也可以不同（见图 1-2-1）。


图 1-2-1 缅甸红宝石内的磷灰石晶体

合成宝石一般不存在原生包体，但对于有种晶的一些合成方法，也可把合成宝石中的种晶视为一种原生包体。

2. 同生包体

同生包体是指在宝石生成的同时所形成的包体，它们的形成主要与晶体的差异性生长、晶体的不规则生长结构、晶体的生长间断、溶液过饱和度的变化、外来杂质的出现、体系温度或压力的突然变化等因素有关。此类包体可以是固态的，也可以是含有呈各种组合关系的固体、液体和气体，甚至空洞或裂隙等，还可以是导致分带性的化学组分变化所形成的色带、幻晶等。

（1）同生固态包体

在某些情况下，若包体矿物与宝石晶体沿结合面的原子结构相似，当宝石晶体停止生长时，包体矿物可聚集和生长在宝石晶体的表面；晶体的重新生长会覆盖这些生长在表面的矿物，使之成为包体。

纤维状矿物的生长速度比主体宝石的生长速度快，因而可以形成长丝状的包体，如水晶中呈针状的金红石、闪石包体（见图 1-2-2）。

在高温下结晶均匀的固溶体矿物，当温度缓慢下降时，固溶体的溶解度减小达到过饱和状态，而出溶成为两个彼此不同的矿物，可使宝石晶体中含有片状或针状矿物晶体，而且它们的方向往往与寄主晶体的某个结构方向平行。例如：从刚玉中出溶的金红石结晶成三组针状的晶体，相互的交角为 120°，而且均平行于刚玉的底轴面。

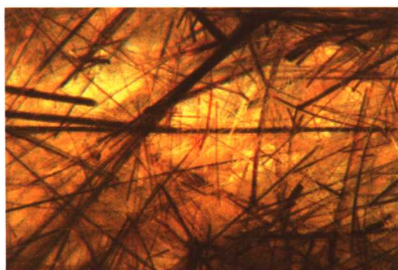

图 1-2-2 水晶中铁钠闪石包体（发晶）


图 1-2-3 斯里兰卡蓝宝石的指纹状包体

钛化合物如金红石、榍石和钛铁矿是宝石中最常见的出溶矿物。这是由于Ti元素的丰度大，易于为寄主晶体所容纳并从寄主晶体晶格中出溶。大量的出溶针状物可在刚玉、石榴石和尖晶石等宝石中产生猫眼和星光效应。其他的出溶矿物有日光石、堇青石中的赤铁矿；月光石中的钠长石；拉长石中的针铁矿等。

(2) 同生流体（气液）包体

产于某些地质环境的宝石可含有大量的气液包体。由于形成条件的制约，气液包体很少见于火成岩，常见于伟晶岩中。这是因为伟晶岩形成于较低的温度，并含有大量的水溶液。

晶体在生长过程中可能破裂，成矿溶液可以进入其裂隙中，直到裂隙在适当部位愈合为止。以这种方式形成的愈合裂隙在富含水溶液环境条件下生成的宝石中是常见的。愈合裂隙可以呈扁平状或弯曲状，常说的“指纹状包体”就属于此类（见图1-2-3）。

有的宝石内部可含有管状的孔道或具有规则形状的孔洞。这是由于宝石晶体在生长的过程中生长阻断或生长速度过快造成的。在生长过程中，孔道或孔洞的形状可能会发生改变或愈合。如海蓝宝石中的“管状”包体可以呈断断续续的“雨丝状”。

很多情况下，经常见到液态包体与气态、固态包体共存。

(3) 同生的非物质性包体

宝石晶体中常见同生不均匀性包体，主要表现为下述几种分带现象。

包体分带　宝石晶体生长的暂时停顿使外来的晶体集结在寄主晶体的表面。若寄主晶体重新生长，便可形成或多或少的呈面状分布的薄层包体，即所谓的“幻晶”。

颜色分带　颜色分带通常取决于宝石中化学成分的变化，它反应了宝石生长环境和流体化学成分的变化，如红宝石、蓝宝石中的平直或角状色带。

结构分带　结构分带通常是由宝石中的双晶造成的，如钻石、长石和红蓝宝石中的生长纹和双晶纹。

合成宝石的包体大都属于同生包体，它们可以是固态、气态或液态。但它们往往从形态和组成上与天然宝石明显不同，可作为区分天然与合成宝石的主要或诊断性特征。如助熔剂法合成红宝石中的助熔剂残留（见图1-2-4），水热法中合成祖母绿中的铂金片、合成祖母绿中由硅铍石和空洞构成的“钉头”状包体，焰熔法合成红宝石中的弧形生长纹和气泡（见图1-2-5）等。

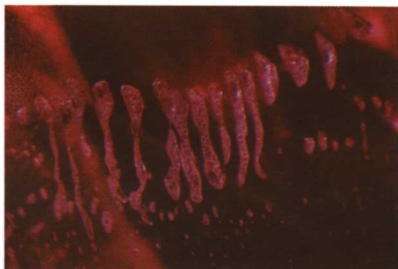


图1-2-4 助熔剂法合成红宝石中的助熔剂包体

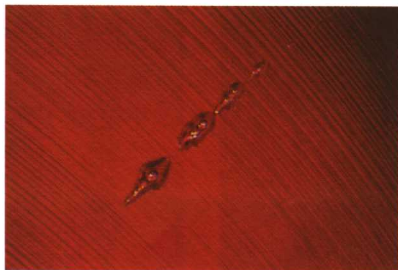


图1-2-5 合成红宝石中的弧形生长纹及变形气泡

3. 次生包体

次生包体是指宝石形成后产生的包体，它是宝石晶体形成后由于环境的变化，如受应力作用产生裂隙，外来物质沿其渗入及裂隙充填所形成的包体，甚至可能是由于放射性元素的破坏作用所形成的包体。

（1）次生裂隙及外来物质充填胶结

宝石停止生长后产生的裂隙中可能会有外来物质进入并在其中沉淀。常见的外来物质是铁和锰的氧化物，如水晶或玛瑙中的黑色树枝状包体（见图 1-2-6）。

（2）放射性元素的破坏作用

有些宝石经常含有微量的放射性元素，如锆石常含有放射性元素 U 和 Th，由于它们的存在不但可以破坏宝石本身的晶体结构，同时，当锆石作为包体出现在其他宝石矿物中时，放射性元素在破坏锆石晶格的同时，还会使锆石的体积增大，也可对主晶宝石晶格产生破坏，产生的应力可导致在锆石周围形成放射状的裂隙等痕迹，这就是我们所说的“锆石晕”（见图 1-2-7）。

合成宝石往往不存在次生包体。但对于优化处理的宝石，可含有一些次生包体。如，红蓝宝石的热处理，往往会导致内部固态包体的体积发生变化，使之发生爆裂而在周围产生次生裂隙（见图 1-2-8）；也会使宝石中存在的 Fe、Ti 出溶，而形成金红石针；也可使同生的针状金红石包体熔蚀，形成呈点状排列的金红石。这些也都可以作为宝石热处理的鉴定特征。另外，宝石的染色处理、充填处理也可视为次生的包体；扩散处理造成的颜色在刻面宝石的腰棱部位的颜色集中、激光打孔处理和KM处理钻石所留下的痕迹和裂隙也可视为次生包体。

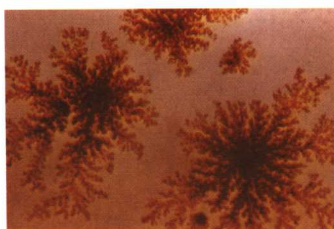


图 1-2-6 玛瑙中的树枝状包体

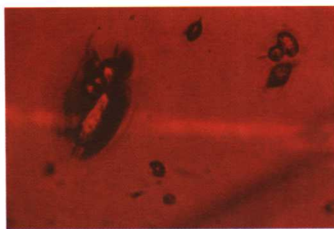


图 1-2-7 斯里兰卡铁铝榴石中锆石包体周围的“锆石晕”



图 1-2-8 蓝宝石热处理应力环

（二）依据包体的相态分类

根据包体的相态特征，可将包体分为固相包体、液相包体、气相包体。

固相包体主要指在宝石中呈固相存在的包体，如红宝石中的金红石、祖母绿中的黄铁矿和方解石等。

液相包体指单相、两相的流体为主的包体，最常见的液体为水、溶解盐（石盐水、含碳酸的水），有机液体也偶有出现（萤石中的石油液态包体，见图 1-2-9）。例如蓝宝石中的指纹状包体、萤石和黄玉中的两相不混溶的液态包体等。

气相包体指主要由气体组成的包体，如琥珀中的气泡、祖母绿中的 CO_2 气态包体、合成红蓝宝石和玻璃中的气泡等。

在实际宝石中，往往可见到两种或两种以上相态包体共存的现象，从而可将其分为单相、两相、三相或多相包体。单相包体指以固相、液相或气相单一相态存在的包体，其多为单相的固态包体，在合成宝石中也常见单相的气态包体（即气泡）；两相包体可以是气－液（如指纹状包体多为气液两相包体）、液－液（如黄玉中的两相不混溶的液态包体）、液－固两相包体；三相包体主要指同一包体内含有气－液－固三相或液－液－气三相包体，如祖母绿中常见的由石盐－气泡－水构成的三相包体（见图 1-2-10）。

两相或多相包体的形成往往都与前期形成的流体的液态包体有关。当流体被捕获到宝石晶体的孔洞时，流体可能是均一的（少数情况下由液体和悬浮晶体、液体和悬浮气体或两相不混

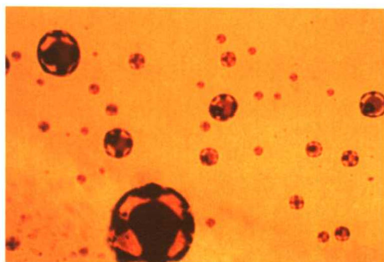

图 1-2-9 萤石中的石油液态包体


图 1-2-10 祖母绿中的固－气－液三相包体

溶液体组成)，这种均一的流体会随着温度的下降而发生变化，分离出气体、固体或其他液体。

天然宝石中存在于液态包体中的气态包体多为低压水蒸气、二氧化碳或甲烷。它们多为由于温度或压力的下降从溶液中逸出的气体。

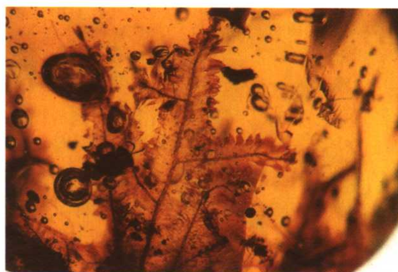
存在于液态包体中的固态包体多为盐类晶体，它们也是液态包体温压的下降造成溶液过饱和从溶液中析出的晶体。主要晶体为钠、钾、钙、镁的氟化物、氯化物、碳酸盐或硫酸盐。其中最常见的是石盐（氯化钠）、钾盐（氯化钾）和石膏（硫酸钙）。

（三）依据包体成分分类

根据包体成分特点可将包体分为有机包体和无机包体两大类。

有机包体是指主要由有机物质组成的包体，如琥珀中的动植物包体（见图1-2-11）及萤石中的石油包体等。

无机包体是指各种晶体、熔体及气液流体包体，它们由无机物质组成，绝大部分宝石中的包体都是无机包体。


图 1-2-11 琥珀中的植物包体

（四）依据包体存在形式分类

根据包体的存在形式，可将包体分为物质型包体和非物质型包体两大类。

1. 物质型包体

是指以实际物质形态存在的包体，如固态、液态和气态包体等。

2. 非物质型包体

是指由晶体缺陷及后期应力作用形成的内部缺陷所构成的包体，它们往往不是以实际的物质形式存在，而多呈一种现象出现，如空晶、双晶面、解理纹等。多是由晶体成分的变化、晶体缺陷、放射性蜕变所导致的与主体宝石颜色有明显差异的色带、色团、色晕等组成的包体，以及由宝石的物理性质引起的特征现象。

(1) 颜色分布

宝石中颜色的分布特征对揭示宝石优化处理、合成和天然类型是非常有用的。平直的颜色分带是诸如茶晶、紫晶和蓝宝石等许多天然宝石的典型特征，但平直的色带并不一定就是天然宝石的特征。焰熔法合成宝石往往具有弯曲的色带。人工改色的宝石的颜色分布具有独特性，在染色宝石中，宝石的颜色集中在裂隙中和晶粒的边界处；扩散处理的宝石，颜色集中在尖角、棱线和表面的裂隙处。

(2) 表面特征

表面特征能提供关于宝石结构和宝石定名的相关线索，如钻石中的双晶可在抛光面上产

生“纹路”；处理的翡翠表面可显示“沟渠状”或“蛛网状”的现象。

（3）解理和断口

解理和断口对某些宝石的鉴别有一定价值。玻璃显示贝壳状断口，而可被玻璃仿制的绿松石则具暗淡平坦的断口；具阶梯状断口说明宝石的解理发育，如锂辉石、长石；解理对鉴定钻石意义重大，钻石腰围的须状腰、“V”形缺口、天然面是其仿制品所不具备的。

（4）双晶

刚玉、金绿宝石、长石中常可见到双晶。早期双晶被认为是天然成因的证据，但在助熔剂法合成的宝石中也已见到双晶。矿物中的双晶可以是同生的或次生的，如方解石的双晶可以在晶体停止生长后因形变而形成，刚玉中的双晶也可以此方式形成。

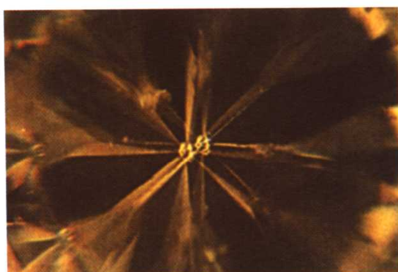


图 1-2-12　合成金红石后刻面棱线的重影

（5）重影

对于双折射率大的宝石来说，用 10 倍放大镜或显微镜，在适当的角度可以看到明显的后刻面棱线和内部包体的重影，如橄榄石、碧玺、锆石、合成金红石等（见图 1-2-12）。

以上不同的分类从不同的角度归纳了包体的特征，每一个分类都不可能涵盖宝石包体的全部特征，熟悉这些分类方法对宝石鉴定具有重要意义。

三、研究宝石包体的意义

宝石包体的研究在宝石学中具有重要意义，归纳起来有如下几点。

（1）了解天然宝石的生成条件，指导找矿和确定合成宝石实验条件

宝石中的包体是研究宝石形成条件最直接的证据，通过宝石中的包体我们可以测定宝石形成时的温度、压力、氧逸度等数据，这些数据对于宝石的找矿、勘探、开采及进行人工合成宝石具有重要意义。

（2）根据典型包体及包体的组合特征，确定宝石品种及优化处理方法

各种宝石之间各项物理常数有时是重叠的，这时宝石中的包体就具有重要意义。通过对宝石包体的观察，可以区分天然宝石、人工宝石，确定宝石品种，判别宝石的优化和处理方法。

（3）根据宝石的典型包体及包体组合确定宝石的产地

有时可以根据宝石中的特征包体来判断宝石的产地。但只有发现宝石中的确存在某些特殊的包体组合时，判断宝石产地的结果才会可靠。如祖母绿中含有氟碳钙铈矿或含有立方体石盐的三相包体时，我们可以判断该祖母绿的产地是哥伦比亚。

（4）根据宝石中包体的特点对宝石进行合理加工

某些宝石因为具有特征的包体，可以使宝石增值，如水胆玛瑙。若宝石中存在一组或多组平行排列的纤维状包体时，经过合理的加工，可使宝石产生猫眼效应或星光效应，也可提高宝石的价值。

（5）根据宝石包体的大小及分布特征对宝石进行评估和分级

宝石包体的存在有时会提高宝石的价值，有时会降低宝石的价值。根据包体的特征，可以对宝石的质量做出综合评价。例如根据钻石中包体的大小、位置、数量、可见度对钻石进行品质等级划分。

（6）了解宝石包体的性质，确定对宝石进行技术处理的可能性

如钻石的激光处理。

第三章　光的基本知识及宝石的光学性质

光是一种自然现象，因为有了光人们才看到宝石美丽的颜色和宝石奇妙的光学现象，因此了解光的本质和不同化学成分、不同结构的宝石与光的相互作用，对鉴定宝石、正确评价宝石及不断改进完善宝石切磨工艺都有重要意义。

第一节　光的本质

光是一种以极大的速度通过空间传播能量的电磁波，它具有波动性。电磁波是在空间运动传播着的电磁振动（变化的电磁场），电磁振动方向垂直其传播方向，即电磁波属一种横波，因而光波也是一种横波（图 1-3-1）。光波以其频率（ν）或波长（λ）为特征，光的速度与频率、波长具如下关系：

$$c=\nu\lambda$$

式中，c 为光速（2.9979×10^{10}cm/s）；ν为光的频率（单位 Hz，赫兹）；λ为光的波长（单位 nm，1nm=10^{-9}m）。波长有时也用波数 $\bar{u}$ 来表示，波数是单位长度内（cm）波的数目，与波长λ的关系为 $\lambda=1/\bar{u}$。

整个电磁波为一广阔的区段，它包括波长较长的无线电波，直至波长较短的γ射线。将各种波长的电磁波按其波长顺序排列，即构成电磁波谱。

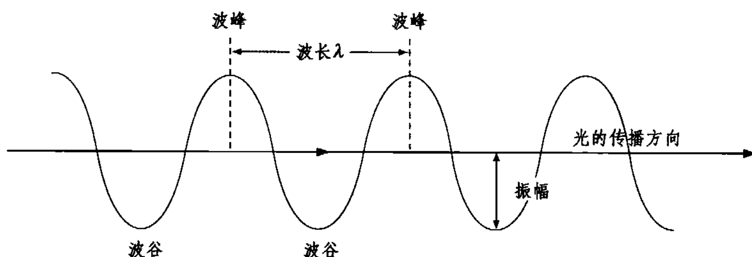


图 1-3-1　光的波动性

光的波动理论（见图1-3-1）较好地解释了诸如干涉、衍射等宝石中常见的一些光学现象。

普朗克（1900）认为各种频率的光只能不连续地被发射和吸收，能量是不连续的，是量子化的；基于光量子具有一定的能量、质量和运动速度，因而光具有粒子性。爱因斯坦指出，不同频率的光子具有不同的能量，每个光量子具有 $h\nu$ 的能量，并提出光的波粒二象性的重要关系式：

$$E=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$$

式中：c 为光速；ν 为光的频率；λ为光的波长；h 为普朗克常数（等于 6.63×10^{-34} /J · s）。

鉴于宝石矿物中的电子属一种微观粒子，因而光的粒子性较好地解释了光的直线传播反射、折射宝石颜色的成因及荧光、磷光等光电效应。

第二节　自然光与偏振光

一、自然光

从一切实际光源直接发出的光波，一般都属自然光，如太阳光、白炽灯光等。自然光的特点是在垂直光波传播方向的平面内，沿各个方向都有等振幅的光振动（见图 1-3-2）。

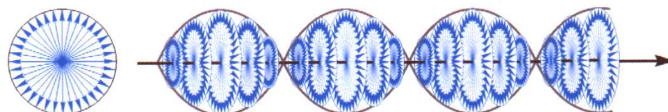


图 1-3-2 自然光及其振动特点

二、偏振光

仅在垂直光波传播方向的某一固定方向振动的光波称为平面偏振光，简称偏振光或偏光。如图 1-3-3 所示，偏振光的振动方向与传播方向构成的平面称为振动面。

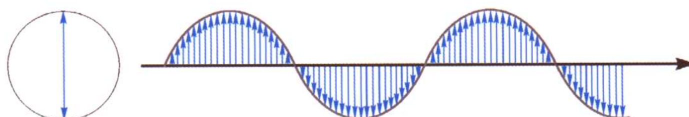


图 1-3-3 平面偏振光

自然光可以通过反射、折射、双折射及选择性吸收等作用转变成偏振光（见图 1-3-4(a)）。使自然光转变成偏振光的作用称为偏振化作用。在光学实验中将自然光转变为偏振光的装置称为偏光片（或起偏器）。偏光片通常根据光的选择性吸收作用或双折射作用（尼科尔棱镜）产生偏光的原理制作而成。目前广泛使用的偏光片是用赛璐珞或其他透明材料的薄片制成的，表面涂了某种细微的晶体物质（例如硫酸奎宁），这种微晶按一定方向排列，能吸收某些方向的光振动，而只让与这个方向垂直的光振动通过（见图 1-3-4(b)）。为了便于说明，偏振片上标出允许通过光的振动方向，这个方向叫做偏振化方向。

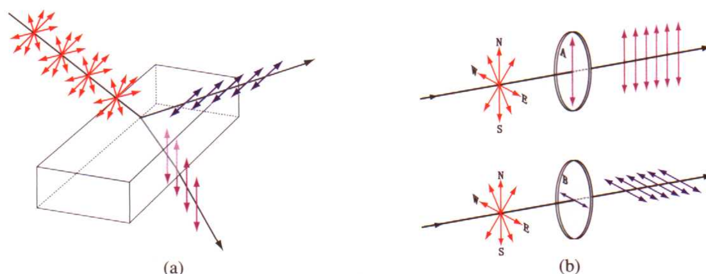


图 1-3-4 偏振光的产生

三、偏振片的起偏和检偏作用

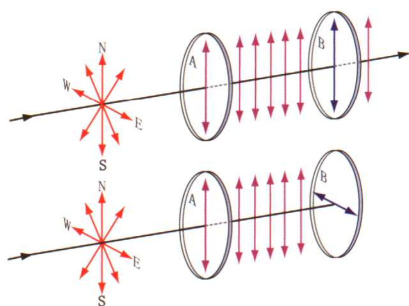


图 1-3-5 偏振片的起偏与检偏

自然光通过偏振片可以转变成偏振光。如图1-3-5所示，自然光通过偏光片*A*转变为偏光。此时如果在偏光的传播方向上再设置偏光片*B*(检偏器)时，将发生如下变化：当*B*的偏振方向与*A*的偏振化方向平行时，该偏振光可继续透过*B*射出；当把偏振片*B*转动90°角时，即*B*的偏振化方向与*A*的偏振化方向垂直时，则该偏光就不能透过偏振片*B*射出。因此当以光的传播方向为轴转动偏振片*B*时，就会发现通过*B*的光由明变暗，再由暗变明的过程。在*B*偏振片转动360°时，可以出现两次全明两次全暗的现象，因此*A*偏振片起到起偏作用，*B*偏振片起到检偏作用和确定偏振光振动方向的作用。宝石用偏光镜就是按照此原理而制造的。当偏振片质量较差，对自然光不能达到完全偏振化作用时，通过*A*、*B*两偏光片的光无法达到完全偏振，通过*B*偏光片就无法看到全暗的现象，整个视域内将表现为一种近似于黑的灰色。

四、自然光和偏振光在宝石中的传播特点

1. 光性均质体和光性非均质体

根据光学性质不同，可以把宝石矿物划分为均质体和非均质体两大类。一般而言，非晶质宝石和等轴晶系的宝石矿物，在各个方向上的光学性质相同，称为光性均质体，简称均质体。如火山玻璃、钻石、石榴石、尖晶石等宝石。中级晶族和低级晶族的宝石矿物，其光学性质随方向而异，称为光性非均质体，简称非均质体。宝石中的大部分属光性非均质体，如红宝石、蓝宝石、橄榄石、水晶、祖母绿等。

2. 光波在均质体宝石中的传播特点

光波进入均质体宝石时，基本不改变入射光波的振动特点和振动方向。如图1-3-6所示，一束自然光射入均质体宝石后，仍然为自然光；一平面偏振光射入均质体宝石后，仍为偏振光，并基本保持其原来的振动方向，即其传播速度及相应的折射率值不因光波在晶体中的振动方向不同而发生改变。

3. 光波在非均质体宝石中的传播特点

当光波进入非均质体宝石时，除特殊方向之外，一般都要发生分解，分解成振动方向互相垂直、传播速度不同的两束偏光，这一现象称为光的双折射。当自然光进入非均质体宝石

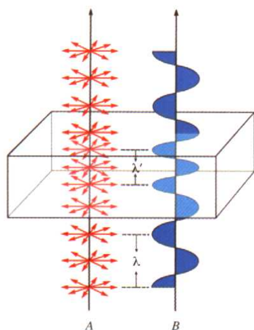


图 1-3-6 光波在均质体中的传播特点
A——自然光；*B*——偏振光

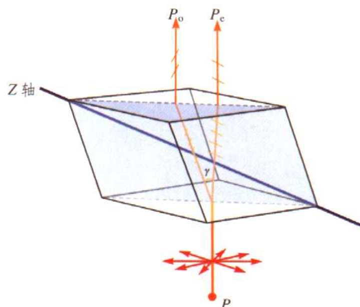


图 1-3-7 光在非均质体（冰洲石）中的双折射现象

时，一般将改变入射光波的振动特点，被分解为互相垂直的两束偏光。如图 1-3-7 所示，由点 P 入射的一束自然光进入方解石晶体后被偏振化，在出射界面分解成由 P_o、P_e 出射的两束偏振光。当一平面偏振光入射到非均质体宝石时，该宝石将对此偏光再次分解成两束偏振光，原振动方向发生改变。

当光波在非均质体宝石中传播时，其传播速度及相应的折射率值随光波在晶体中的振动方向不同而发生改变。非均质体可以有两个或两个以上的折射率值。

当光波沿非均质体宝石的某个特殊方向入射时，不发生双折射，基本不改变入射光波的振动特点和振动方向，这一不发生双折射的特殊方向称为光轴。中级晶族宝石晶体（如红宝石、祖母绿、锆石等）只有一个光轴方向，称为一轴晶；低级晶族宝石晶体（如透辉石、长石、橄榄石、黄玉等）具有两个光轴方向，称为二轴晶。

第三节　光的折射与反射

一、光的折射与反射

当光波从一种介质传播到另一种介质时，在两种介质的分界面上将发生反射及折射等现象，反射光按反射定律返回介质，折射光按折射定律进入另一介质中(图 1-3-8)。

二、折射定律及折射率

如图 1-3-9 所示，设想一束平行光线倾斜射向两种介质的界面，R_1、R_2 为该光束中两条代表光线。设 i 代表入射光与法线的夹角（入射角），γ 代表折射光与法线的夹角（折射角）。设 v_i 代表光波在入射介质(1)中的传播速度，以 v_γ 代表光波在折射介质(2)中的传播速度。设在 t_1 瞬间，入射光束的波前到达 OG 面。根据惠更斯原理，波前 OG 面上的每一点均可视为发射子波的新波源。当光线 R_1 从 O 点进入折射介质(2)时，光线 R_2 仍在入射介质(1)中传播，在 t_2 瞬间，R_2 到达界面 M 点，R_1 已在折射介质(2)中传播了 OS 距离。$OS=v_\gamma(t_2-t_1)$，即 R_1 从 O 点发出的子波已在折射介质中形成以 OS 为半径的一个半圆波面。从 M 点向此半圆波面作一切线与波面相切于 S 点。MS 为 t_2 瞬间折射光束的波前，OS 为折射光束的传播方向。

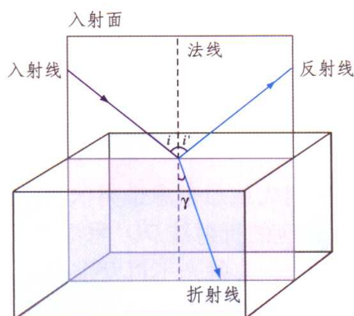


图 1-3-8　光的反射与折射

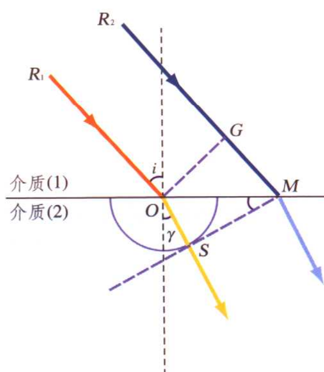


图 1-3-9　光的折射定律

图 1-3-9 中，　在△ OMG 中，$\angle GOM = i$，$MG = OM\sin i$　(1)

△ OSM 中，$\angle OMS = \gamma$，$OS = OM\sin\gamma$　(2)

以(2)式除(1)式　$$\frac{MG}{OS} = \frac{OM\sin i}{OM\sin\gamma} \quad (3)$$

因 $MG = v_i(t_2-t_1)$，$OS = v_\gamma(t_2-t_1)$，代入(3)式得：

$$\frac{v_i(t_2-t_1)}{v_\gamma(t_2-t_1)} = \frac{\sin i}{\sin\gamma}$$

即　$$\frac{v_i}{v_\gamma} = \frac{\sin i}{\sin\gamma} = n \quad (4)$$

(4) 式为折射定律，两种介质一定时，n 为一个常数，称为第二介质(折射介质)相对第一介质(入射介质)的相对折射率；如果入射介质为真空(或空气)，n 值则为折射介质的绝对折射率。一般我们所指物质的折射率都是相对与真空（或空气）而言的，即其绝对折射率。

从上式可知，光波在介质中的传播速度愈大，该介质的折射率愈小；反之，光波在介质中的传播速度愈小，该介质的折射率愈大。即介质的折射率值与光波在该介质中的传播速度成反比（$v_i / v_\gamma = n_\gamma / n_i$）

介质的折射率值与其组成成分、结构有关。在宝石学中，宝石折射率是反映宝石成分、晶体结构的非常重要的常数之一，是宝石种属鉴别的可靠依据。

三、光的全反射和漫反射

1. 光的全反射及全反射临界角

根据折射定律，当光波由折射率较小的介质（光疏介质）射入折射率较大的介质（光密介质）时，其折射光线偏向法线，即 $v_\gamma < v_i$，相对折射率 $n > 1$，$\sin i/\sin\gamma > 1$，$i > \gamma$。反之，当光波由折射率较大的介质射入折射率较小的介质时，其折射光线偏离法线，即 $v_r > v_i$，相对折射率 $n < 1$，$\sin i/\sin\gamma < 1$，$i < \gamma$（图 1-3-10）。

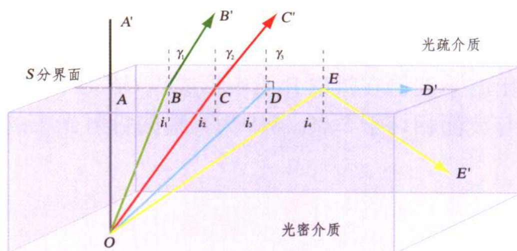


图 1-3-10 光的全内反射

在图 1-3-10 中，S 面为光密介质与光疏介质的分界面，O 为总光源。从光源 O 发出 OA、OB、OC、OD、OE 一系列光波向 S 面入射。其中 OA 光垂直界面，$i = 0°$，故 $\gamma = 0°$，不发生折射，AA' 光沿 OA 原方向射入光疏介质中。

随着光波入射角的加大，折射角势必不断增大，折射光线愈来愈偏离法线。当光线的入射角加大到一定程度时（如图中的 OD 光线），$\gamma = 90°$，相应的折射线 DD' 将沿界面进行传播。如果光波的入射角继续增大(如图中的 OE 光线)，$\gamma > 90°$，入射光不再发生折射，而是全部反射回入射介质中，且遵循反射定律，反射角 = 入射角($i = \gamma$)，这一现象称为光的全反射，与 $\gamma = 90°$ 相应的入射角称为全反射临界角。

设图 1-3-10 中光疏介质的折射率为 n_1，光密介质的折射率为 n_2（$n_2 > n_1$），全反射临界角

为 ϕ，将得出下式：

$$\frac{\sin\phi}{\sin 90^\circ}=\frac{n_1}{n_2} \qquad n_1=n_2\sin\phi$$

根据上式，如果光密介质的折射率值n_2已知，便可根据全反射临界角计算出光疏介质的折射率值n_1值。宝石用折射率仪就是根据全反射原理设计制成的。反之，当n_2和n_1值已知时，根据上式可以计算出全反射临界角的值。在宝石加工中，为了使刻面达到对光的全反射效果，可根据加工宝石的折射率值，通过上述关系式，计算出最佳的刻面角度。

2. 光的漫反射

当一束平行光线照到理想抛光平面或镜面时，入射光的绝大部分，依反射定律沿同一方向被反射，且入射角与反射角相等，这种反射称为镜面反射。当一束光线照到物体凹凸不平的表面时，光沿着不同的方向发生反射，称为光的漫反射。这时每一个凹面或凸面都相对入射光构成了局部范围内的反射界面。无排列规律的众多反射界面使原本沿同一方向入射的光分解成无数个细小光束以不同反射角反射。当物体对入射光进行漫反射时，各反射方向的反射光亮度相当的点能连成一个正圆时，则该物体称为完全漫反射体。而一般情况下大多数物体在对入射光进行反射时既有镜面反射又有漫反射，而且镜面反射光强度大于漫反射光强度。

第四节　光的干涉与衍射

一、光的干涉

1. 干涉作用

波长相同、相差恒定、传播方向相近的两束或两束以上的光在同一介质中相遇时，在交叠区相互作用产生相长增强或相消删除的现象称为光的干涉作用。产生干涉作用的波称为相干波。并不是任意两束光相遇都可发生干涉作用。能发生干涉的两束光必须符合以下条件：两束光的频率相同、振动方向相同、位相相同或位相差恒定。

振动方向一致、振幅和频率相同的两束相干波（光波 1 与光波 2）相遇，光波 1 的波峰、波谷与光波 2 的波峰、波谷同方向重叠，两束光发生干涉，其结果是产生的干涉波具有双倍的振幅，该过程称相长增强，光亮度因而加强（图 1-3-11(a)）。

当这两束光波振动相位完全相反时，即光束1的波峰与光束2的波谷反向重叠，由于电磁场相互抵消，光波1与光波2干涉的结果是光亮度减为零，该过程称为相消删除（图1-3-11(b)）。

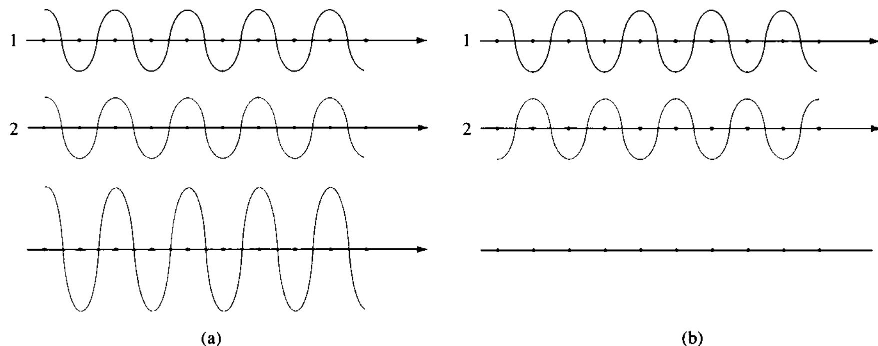


图 1-3-11　光的干涉

2. 干涉色

当两单色光源相干波发生干涉时，将产生一系列明暗条纹，称为干涉条纹；而复色光(即白光)发生干涉时，则产生由紫到红一系列的彩色条纹。由干涉作用形成的颜色，称为干涉色。干涉色的具体颜色受两束相干光的光程差制约，如果以白光作光源，当光程差在0～550nm范围内时，将依次出现暗灰、灰白、黄橙、紫红诸多干涉色，称为第一级序干涉色，其干涉色的特点是只有暗灰、灰白色而无蓝、绿色；当光程差在550～1100nm范围内时，将依次出现蓝、绿、黄橙、紫红色干涉色，称为第二级序干涉色，其特点是颜色鲜艳，干涉色条带间界线较清楚；当光程差约为1100～1650nm左右时，将出现第三级序干涉色，其干涉顺序与第二级序一致，但其干涉色色调比第二级序浅，干涉色条带间的界线已不十分清楚；当光程差大于1650nm后将出现第四级序以至更高级序的干涉色。干涉色级序越高，其颜色越浅，干涉条带之间的界线也越模糊不清。

3. 薄膜干涉

在日常生活中，经常可以见到白色薄膜上的彩色条纹和玻璃窗上有了油膜时而出现的彩色条纹，这都是由光的薄膜干涉而引起的。如图1-3-12所示，在薄膜干涉中，从低层反射的光与薄层顶部反射的光相叠加、干涉而成色。对于干涉起决定作用的将是这两束光的光程差。当光程差是光波半波长的偶数倍时，两束光相长增强，当光程差是半波长的奇数倍时，两束光相互消删。当两束光为单色光时，干涉作用仅出现明暗相间的带；当两束光为复色光时，出现彩色。干涉色的颜色取决于薄膜的厚度、薄膜的折射率和入射光的性质。薄膜干涉往往是薄膜呈弧形表面，使平行入射的光线产生不同的入射角，造成不同的波程差，从而来满足不同波长的光产生干涉。

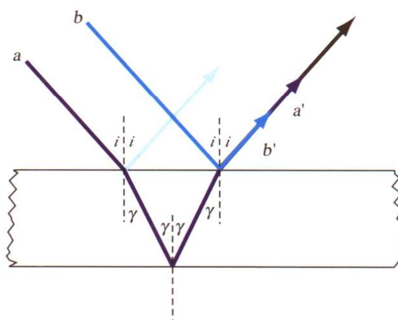


图1-3-12 光的薄膜干涉

a、*b*为入射光，*a'*为薄膜底层的反射光，*b'*为薄膜顶层的反射光，*a'*、*b'*两束反射光相叠加发生干涉

4. 劈尖干涉

实际中，薄膜并不一定表现为均一平面，当薄膜不均匀时，即薄膜的厚度发生变化时，将出现劈尖干涉或楔模干涉。劈尖往往具有一个平面，平行光线以相同的入射角入射，劈尖的作用造成不同的波程差，从而来满足不同波长的光产生干涉。

晕彩是宝石中最常见的干涉现象，可以由于解理或裂隙的存在而产生，如晕彩石英。当光通过石英裂隙中的空气薄层时发生干涉，从薄层底部反射的光与薄层顶部反射的光相叠加，使本来无色的石英呈现五颜六色的干涉色。

二、光的衍射

光波在遇到障碍物时，偏离直线方向传播的现象称为光的绕射，也称为光的衍射。如图1-3-13(a)所示，自光源发出的光线穿过宽度可以调节的狭缝后，在屏幕上会出现光斑。在光源、狭缝和屏幕位置相对固定的情况下，光斑的大小由狭缝的宽度所决定。如果缩小狭缝的宽度，光斑也会随之变小；但当狭缝的宽度缩小到一定程度时，如约10^{-4}m时，若狭缝的宽度再继续缩小，光斑不但不会缩小，反而会增大。这时光斑的全部亮度也发生变化，由原来亮度均匀分布的亮斑变成了一系列明暗相间的条纹（光源为单色光源）或彩色条纹（光源为

白色光源)，条纹的边界也失去了明显的界线。这就是光的衍射现象。衍射产生的原因是，光在没有障碍传播时，光是以平面波的形式向前推进传播的，当光在遇到障碍物时(见图 1-3-13(b))，其波场中的能量分布会发生变化，在障碍物边缘产生的子波的相位关系被打破，它们不再是平面波的一部分，不再沿平行方向传播，而是改变其传播方向，同时，一系列子波发生干涉便产生了干涉条纹。因此衍射产生的颜色效应包括了干涉。

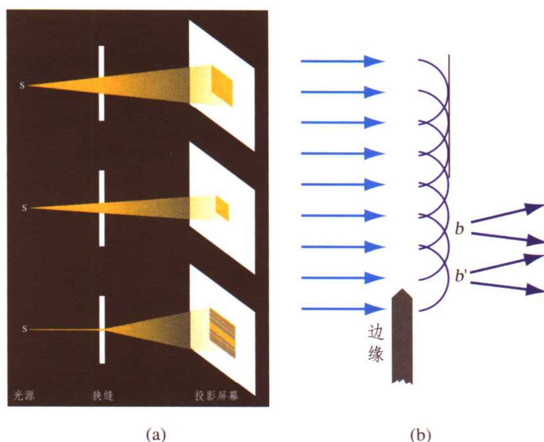


图 1-3-13 光的衍射与干涉

衍射是有条件的，只有当障碍物的大小与光波波长十分相近，或略大于光波波长时，衍射才能发生。单色光发生衍射时，衍射结果产生明暗相间的条纹；当复色光发生衍射时，产生的将是五颜六色的彩色条纹，衍射效应产生的是纯正的光谱色。

光的衍射在宝石学中主要的应用有两个方面。其一，利用光的衍射原理而设计的衍射光栅，是宝石用分光镜的主要构件之一。从广义上讲，所谓光栅，就是具有周期性的空间结构或光学性能的衍射屏，利用衍射光栅制作宝石用分光镜可以将复色光即白光分解成线性的衍射光谱，且光谱颜色鲜艳。其二，利用光的衍射原理，可解释宝石中的一些特殊光学效应，如变彩效应。

光栅的类型很多，有透视光栅、反射光栅、平面光栅、一维光栅、二维光栅、三维光栅等。三维光栅解释了欧泊的变彩。

三、光的散射

散射是指由传播介质的不均匀性引起的光线向四面八方射去的现象。当光线通过均匀、透明的物质(如清水、玻璃)时，在侧面是难以看到光线的。但是，当介质不均匀时，如清水中有了悬浮微粒时，便可在侧面看到光的轨迹(见图 1-3-14)，即看到侧光。此时介质的不均匀性是一种微观尺度上的不均匀，是以波长为单位来度量的。当介质均匀性遭到破坏，且不均匀的尺度达到波长数量级时，这些不均匀介质小块之间在光学性质上(如折射率)将有较大差别。在光波的作用下，它们将成为强度差别较大的次波源，这时除了按几何光学规律直线传播的光外，在其他方向或多或少也有光线存在，这就是散射光。由此可见，尺度与波长可比拟的不均匀性引起的散射，也可以看作是一种衍射作用。如果介质中不均匀团块的尺度大于波长的数量级时，散射又可看成是在这些团块上的反射和折射。如图 1-3-15 所示，图中(a)为一十分细小的微粒，使光波发生散射，而(b)为一较大物体，使光波发生反射，边缘部分发生衍射。

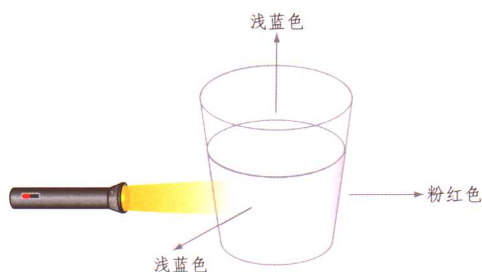


图 1-3-14 光的散射示意图

一束电光通过稀释的牛奶后成为粉红色，而散射光是浅蓝色

散射的强度和颜色多与不均匀微粒的大小和光的波长有关，就可见光（400～700nm）而言：①比可见光的波长小的微粒引起的散射：当微粒的大小在300～1nm左右时，其对可见光的散射强度与波长成反比，这类散射统称为瑞利

散射。即波长短的蓝光比波长长的红光的散射要强得多，一般来说可以产生很好的蓝色—紫色的散射，其他波长的光被部分吸收而削弱。月光石的蓝色多属于此类散射。②接近或大于可见光波长的微粒引起的散射：其散射强度与波长关系不大，大多数情况下呈白色散光，这类散射统称为米氏散射。如不透明的白色石英。只有当散射微粒大小在λ～2λ之间时，散射光才可能呈各种颜色，主要是红色和绿色，这种情况宝石中比较少见，只有极少数的具黄色、米黄色乳光的月光石可能具有此结构。有时把散射微粒大于700nm的散射也称为白色米氏散射，这种散射可使宝石产生明亮的乳光，如月光石、芙蓉石、刚玉、尖晶石和蛋白石等。

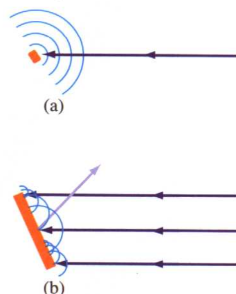


图 1-3-15 介质尺度与光的散射、衍射和反射的关系
(a)细小微粒，光波在此发生散射；
(b)较大微粒，光波在此发生反射，边缘部分发生衍射

四、光的色散

当白色复合光通过具棱镜性质的材料时，棱镜将复合光分解而形式不同波长光谱的现象称为色散，它是由于光在同一介质中的传播速度随波长而异所造成的。白光是一种复色光，它由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等不同的单色光复合而成。当白光通过具有棱镜性质的材料时，由于不同波长的光在其中的传播速度不同，其折射率也会不同，因此当光线通过射入和射出棱镜材料经过两次折射后，就会把原来的白色光分解而形成不同波长的彩色光谱。如图 1-3-16 所示，其中红色光的波长最长，偏离入射光方向最小，而紫色光波长最短，其偏离入射光方向最大。色散形成的光谱，按各色光的偏离入射光的程度，由红色到紫色依次排列。

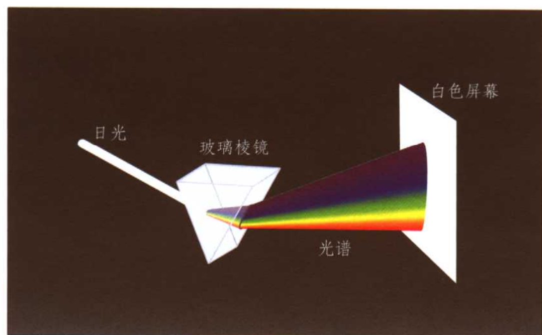


图 1-3-16　光的色散

色散的强弱可以用色散值来表示。通常把材料对红光 686.7nm 和紫光 430.8nm 两束单色光的折射率差值规定为材料的色散值。色散值越大色散越强，反之越弱，这两种波长的光分别为太阳光光谱中的 G 线和 B 线。根据色散值的大小，可将色散划分成不同的等级：极低(0.010 以下)、低(0.010～0.019)、中高(0.020～ 0.029)、高(0.030～0.059)、极高(0.060 以上)。

色散在宝石中有两种意义。其一可以作为宝石肉眼鉴定的特征之一，特别是在对无色或颜色较浅的宝石鉴定中起着较重要的作用。在一堆无色透明的宝石，如水晶、黄玉、绿柱石、玻璃、钻石中，有经验的宝石工作者可以根据钻石的高色散值(0.044)将钻石挑选出来，还可以根据不同的色散值，将钻石与锆石区分开来。其二，高色散值使宝石增添了无穷的魅力。无色的钻石之所以能成为宝石之王，很重要的原因之一便在于它的高色散值。当自然光照射到角度合适的钻石刻面时，会分解出光谱色，在钻石表面显示出一种五颜六色的火彩。

彩色宝石的色散往往被自身颜色所覆盖，而表现得不十分明显，但是高色散值同样为彩色宝石增添光彩，如绿色的翠榴石，由于具有很高的色散值(0.057)，看上去比绿色玻璃还艳丽得多。

具有高色散的宝石有：锰铝榴石 0.027，人造钇铝榴石 0.028，锆石 0.039，钻石 0.044，榍

石 0.051，翠榴石 0.057，合成立方氧化锆 0.065，人造钛酸锶 0.19，合成金红石 0.28。

影响宝石火彩的因素还有体色、净度和切工比例等。

第五节 光率体与宝石的光性方位

一、光率体

为了说明宝石晶体的光学性质，需引进光率体的概念。光率体是表示光波在晶体中传播时，光波的振动方向与相应折射率值之间关系的光学立体图形（光性指示体）。具体作法是：以晶体中心为起点，平行于在晶体中传播的光波的振动方向作一条直线，直线的长度按该振动方向光波的折射率值为大小截取，每一振动方向的光波都可作出一条与其折射率值大小相对应的线段，把无数条这样即代表光波振动方向又代表相应折射率值的线段的端点连接起来便构成该晶体的光率体。

光率体可使宝石晶体的许多光学现象得以解释，不同晶体结构的宝石，光率体形状不同，现分述如下。

1. 均质体光率体

非晶质体和高级晶族的宝石均为光性均质体。光波在均质体宝石中传播时，其速度不因振动方向的改变而改变，即各个方向振动的光波在晶体中的传播速度是相同的，相应的折射率值也相等。因此，均质体的光率体是一个圆球体(图 1-3-17)，通过球体中心任何方向的切面都是圆切面，其半径代表均质体宝石的折射率值(n)。对于均质体宝石来说仅有一个折射率。

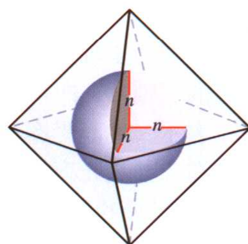


图 1-3-17 均质体的光率体图

2. 一轴晶光率体

中级晶族的三方、四方、六方晶系的宝石均为非均质体，其光率体的形状已不再是一个球体，而是一个以Z晶轴为旋转轴的旋转椭球体，称为一轴晶光率体(图 1-3-18)。直立轴是旋转椭球体的旋转轴，它代表了一轴晶光率体的光轴方向。当光波沿光轴方向入射时，不发生双折射，此时光波在垂直该轴的圆切面内作水平振动，在垂直Z轴各个振动方向的折射率都相等，此为常光的折射率值，用符号 n_o 表示，如图 1-3-19(a)。

当光波垂直光轴方向入射时，光发生双折射，分解成振动方向互相垂直的两种偏光，此时，在一轴晶光率体中，垂直入射光方向的切面为一包含了光轴的椭圆切面。入射光分解后的一个偏光的振动方向平行于光轴，为非常光的折射率，用符号 n_e 表示；另一偏光的振动方向与光轴垂直，折射率与常光折射率相等（n_o），如图 1-3-19(b)。

当光波斜交光轴方向入射时，在光率体中垂直光波入射方向的切面仍为一椭圆，该椭圆的一个轴的方向的折射率值用符号 n_e' 表示，其大小介于常光与非常光之间；该椭圆的另一个轴方向仍然代表了常光的振动方向，折射率值等于常光折射率值 n_o，如图 1-3-19(c)。

综上所述可知，具一轴晶光率体的宝石矿物具有 n_e、n_o 两个主折射率值，这两个折射率差的绝对值称为双折射率，它是最大和最小两个折射率的差值。

在一轴晶光率体中，根据轴的相对长短，即 n_e 值与 n_o 值的相对大小，又可将一轴晶光率体分为正负两种光性。当 $n_e>n_o$ 时，即直立轴是相对长轴时，称为一轴晶正光性（见图 1-3-18 (a)）；当 $n_e<n_o$ 时，即直立轴是相对短轴时，称为一轴晶负光性(见图 1-3-18(b))。

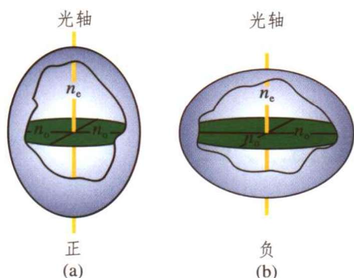


图 1-3-18 一轴晶光率体图

(a)轴正光性晶体；(b)轴负光性晶体

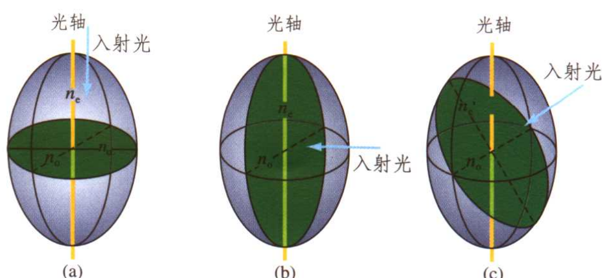


图 1-3-19 一轴晶正光性光率体的主要切面

(a)光沿光轴方向入射；(b)光垂直光轴方向入射；(c)光斜交光轴入射

3. 二轴晶光率体

低级晶族的斜方晶系、单斜晶系、三斜晶系的宝石晶体，其光率体形状较为复杂，为一个三轴不等的椭球体(即三轴椭球体)(见图 1-3-20)，称二轴晶光率体。二轴晶光率体的三轴椭球体中的三个互相垂直的主轴代表了二轴晶宝石的三个主要光学方向，称为光学主轴，即 n_g 轴、n_m 轴、n_p 轴。其中 $n_g>n_m>n_p$。具二轴晶光率体的宝石矿物应有三个主折射率值，其中最大主折射率值 n_g 与最小主折射率值 n_p 的差值为其双折射率；包括两个主轴的面称为主轴面(主切面)，二轴晶光率体有三个互相垂直的主轴面，即 n_g-n_p 面，n_g-n_m 面和 n_m-n_p 面。图 1-3-21 表示二轴晶光率体及其主要切面。

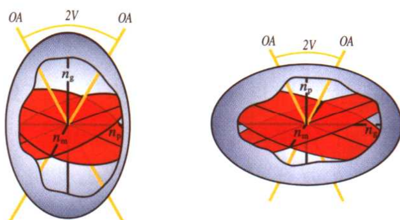


图 1-3-20 二轴晶光率体

在二轴晶光率体中，直立轴两侧通过 n_m 轴，有两个以 n_m 为半径的圆切面，当光波垂直这两个圆切面入射时，不发生双折射，基本不改变入射光的振动特点及振动方向，这两个方向即为二轴晶的光轴。通过二轴晶光率体中心，只能画出两个圆切面，即只有两个光轴方向（以符号 *OA* 表示），故称为二轴晶。包括两个光轴的面称为光轴面，光轴面与主轴面 n_g-n_p 一致。两光轴之间所夹的锐角称光轴角，以符号“2V”表示(图 1-3-21)。

根据 n_g、n_m、n_p 值的相对大小，可以确定二轴晶光率体的光性符号，当 $n_g-n_m>n_m-n_p$ 时为正光性(图 1-3-21-a)，当 $n_g-n_m<n_m-n_p$ 时为负光性(图 1-3-21-b)。

在二轴晶宝石中，当光波沿垂直于以 n_m 为半径的圆切面方向入射时(沿光轴方向)，不发生双折射，相应的折射率值为 n_m；当光波垂直主轴面 n_g-n_p 入射时（即沿 n_m 轴入射），发生双折射，分解形成两种偏光，相应的折射率分别为 n_g 与 n_p；当光波沿任意斜交切面(主轴面以外的切面)方向入射时，相应的折射率值为 n_g'、n_p'。

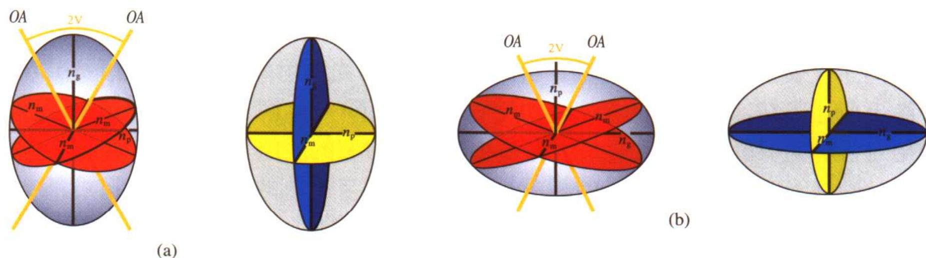


图 1-3-21 二轴晶光率体主要切面

二、光性方位

光率体主轴与晶体结晶轴之间的关系称为光性方位。

1. 高级晶族晶体的光性方位

等轴晶系是高级晶族中唯一的晶系，等轴晶系的宝石为均质体，其光率体是一个圆球体，所以通过光率体中心的任意三个互相垂直的直径都可以与三个结晶轴相当。球体半径代表折射率大小（图 1-3-17）。

2. 中级晶族晶体的光性方位

中级晶族包括三方、四方、六方三个晶系，中级晶族宝石晶体的光率体是一个旋转椭球体，即一轴晶光率体，光率体的旋转轴（光轴、n_e轴）与晶体中的高次对称轴（Z轴—L^3、L^4、L^6）一致。显然，方解石（一轴晶负光性）晶体中的光率体位置和石英晶体（一轴晶正光性）的光性方位相同(图 1-3-22)。

3. 低级晶族晶体的光性方位

低级晶族包括斜方、单斜、三斜三个晶系。低级晶族宝石晶体的光率体是二轴晶光率体，为一个三轴不等长的椭球体。在斜方晶系的宝石晶体中，光率体的三个主轴与晶体的三个结晶轴一致，但究竟哪一个主轴与哪一个晶轴一致，要视具体宝石晶体而定，如在斜方晶系的黄玉晶体中，代表最大折射率方向的n_g轴与黄玉的Z轴一致，即$n_g=Z$，$n_m=Y$，$n_p=X$(图 1-3-23(a))；单斜晶系宝石晶体的对称程度降低，只有一个二次对称轴Y晶轴，其光性方位表现为：二次对称轴Y与光率体的三主轴之一重合，其余两个结晶轴与光率体中另外两主轴斜交，至于二主轴与二结晶轴斜交的角度，因宝石矿物种类而异。如图 1-3-23(b)中的透闪石。

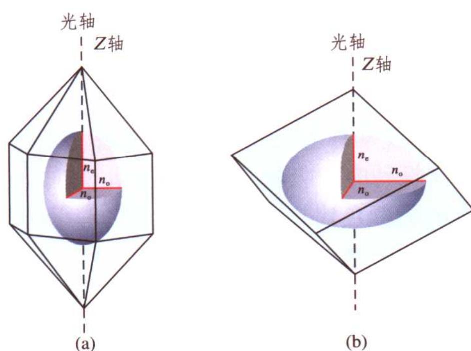


图 1-3-22 中级晶族晶体的光性方位
(a)石英晶体；(b)方解石晶体

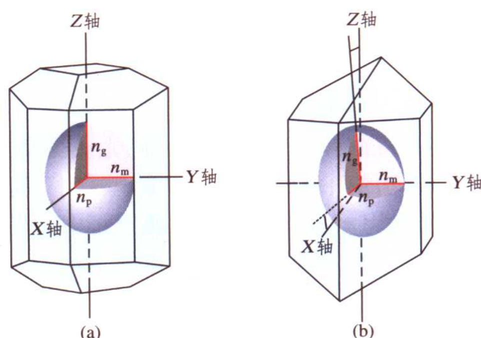


图 1-3-23 低级晶族晶体的光性方位
(a)黄玉；(b)透闪石

三斜晶系晶体的对称程度最低，仅有一个对称中心，与光率体的中心相当，光率体三主轴与晶体的三个结晶轴斜交，斜交的角度因宝石矿物而异。

了解了宝石晶体中光率体的特点和光率体在宝石晶体中的位置，就可对宝石的光学性质有较深刻的理解，比如宝石的折射率、双折射率值随方向、方位有变化，折射率值的测定、宝石的偏光性的观察、最大双折射率的方向、宝石晶体的方向性对颜色的影响等都与光性方位有关，也要结合光率体方位给予描述。

第六节　宝石的多色性

一、多色性

非均质体彩色宝石的光学性质随方向而异，对光波的选择性吸收及吸收总强度随光波在晶体中的振动方向不同而发生改变。因此在二色镜或单偏光镜下转动彩色宝石时，可以发现非均质体彩色宝石的颜色及颜色深浅会发生变化，这种由于光波在晶体中振动方向不同而使彩色宝石呈现不同颜色的现象称为多色性。

一轴晶彩色宝石可以有两种主要的颜色，它们分别与常光、非常光的方向相当。如利用二色镜观察山东蓝宝石，在垂直蓝宝石Z轴切面上观察时（观察方向平行Z轴），蓝宝石显深蓝色，且围绕Z轴转动宝石360°，其颜色不发生变化，即n_o为深蓝色；在平行蓝宝石Z轴切面上观察时（观察方向垂直Z轴），当蓝宝石中n_e的振动方向和n_o的振动方向分别与二色镜冰洲石棱镜中n_e、n_o两个振动方向相一致时，目镜则显蓝绿色和深蓝色两种颜色，即n_o为深蓝色，n_e为蓝绿色。当把蓝宝石晶体中n_e的振动方向和n_o的振动方向与二色镜冰洲石棱镜中n_e、n_o两个振动方向斜交时，则显示蓝绿色和深蓝色之间的过渡色。

二轴晶彩色宝石可以有三个主要颜色，它们分别与光率体三个主轴n_g、n_m和n_p相对应，在平行光轴面的切面中多色性最明显，它的两个颜色分别与n_g和n_p相当，在垂直光轴的切面上只显示一种颜色，此颜色与n_m相对应。

宝石晶体的多色性明显程度与宝石的性质有关，也与所观察的宝石的方向性有关。在平行光轴或平行光轴面的切面内，多色性表现最明显，垂直光轴的切面则不显多色性；其他方向的切面上的多色性的明显程度介于上述二者之间。

二、吸收性

在宝石晶体中，颜色深浅随光波振动方向而改变的现象称为吸收性。在一轴晶宝石中，当n_o方向的颜色比n_e方向的颜色深时，光波沿n_o方向振动时的吸收总强度大于n_e方向，故其吸收性为$n_o > n_e$；在二轴晶宝石中，当吸收性为n_g的颜色比n_m深，而n_m又比n_p深，即$n_g>n_m>n_p$时，称为正吸收，相反当$n_p>n_m>n_g$时，称为反吸收。

第七节　宝石的光泽

一、光泽的定义及本质

宝石的光泽是指宝石表面反射光的能力。通常，光泽的强弱用反射率R来表示。反射率是指光垂直入射宝石光面时的强度（I_o）与反射光强度（I_Y）的比值，即$R=I_Y/I_o$。宝石反射率的大小主要取决于折射率（n）和吸收系数（K）。

对于不透明的宝石：
$$R=\frac{(n-1)^2+K^2}{(n+1)^2+K^2}$$

对于透明的宝石：
$$R=\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

一般而言，宝石的折射率和吸收系数愈大，光泽也就愈强，通常用R值度量。

实际上，影响光泽的因素很多，而且很复杂。除上述所说的与吸收率和折射率有关外，还与宝石表面的抛光程度、集合体宝石矿物的组成矿物、结构、紧密程度等因素有关。如，一粒抛光质量上乘的刻面宝石，其表面可达到很好的镜面反射，因而看上去有较强的光泽。反之，一粒表面凹凸不平、抛光粗糙的宝石，会引起光的漫反射，使进入人眼的光减弱，因而表现出相对较弱的光泽。

二、光泽分类

根据光泽的强弱可以将光泽分为金属光泽、半金属光泽、金刚光泽和玻璃光泽等。对于宝石矿物来讲，绝大部分为玻璃光泽，金属光泽和半金属光泽者极少。另外，由于反射光受到宝石矿物颜色、表面平坦程度、集合体结合方式等的影响，还可以产生一些特殊的光泽，如油脂光泽、树脂光泽、丝绢光泽等。

（1）金属光泽

具金属光泽的宝石矿物，其$R > 25\%$，表面呈金属般的光亮，一般不透明。宝石矿物极少具金属光泽，仅有少数品种，如黄铁矿，磨光后表面可具金属光泽。通常折射率$n > 3$。

（2）半金属光泽

具半金属光泽的宝石矿物，其$R=25\% \sim 19\%$，表面呈弱金属般的光亮，一般不透明。如黑钨矿和铬铁矿。宝石中所见赤铁矿多为集合体，受颗粒结合形式的影响，光泽要低于赤铁矿单晶晶面的光泽。通常折射率$n=2.6 \sim 3.0$。

（3）金刚光泽

具金刚光泽的宝石矿物，其$R=19\% \sim 10\%$，表面金刚石般的光亮，透明—半透明。以钻石为代表。通常折射率$n=1.9 \sim 2.6$。

（4）玻璃光泽

具玻璃光泽的宝石矿物，其$R=10\% \sim 4\%$，表面玻璃般的光亮，透明—半透明。如祖母绿、水晶、黄玉等宝石。通常折射率$n=1.3 \sim 1.9$。

上面光泽等级的划分实际上是人的肉眼对反射光的一种视觉感知，它们往往与反射率、折射率之间没有一个截然的界限，相互之间可能存在一定程度的重叠。上面列出的数据也仅供参考。

在宝石中常见的一些特殊光泽有如下的几种。

（1）油脂光泽

在一些颜色较浅，具有玻璃光泽或金刚光泽的宝石的不平坦断面上或集合体颗粒表面所见到的一种光泽。如石英晶面为玻璃光泽，断口可为油脂光泽，集合体的石英岩断口也为油脂光泽。另外，石榴石和磷灰石的断口也多为油脂光泽。

（2）树脂光泽

一些颜色为黄—黄褐色的宝石，断面上可以见到一种类似于松香等树脂所呈现的光泽。如琥珀，其断面上常见到树脂光泽，但当琥珀磨抛出一个非常好的平面时，可呈现一种近似的玻璃光泽。

（3）蜡状光泽

在一些透明—半透明玉石矿物的隐晶质或非晶质致密块体上，由于反射面不平坦，产生一种比油脂光泽暗些的光泽，如块状叶蜡石的光泽。

（4）土状光泽

一些细分散的多孔隙的宝石矿物因对光的漫反射或散射而呈现一种暗淡的土状光泽，如

风化程度较高的劣质绿松石。

(5) 丝绢光泽

一些透明的原具玻璃光泽或金刚光泽的宝石矿物，当它们呈纤维状集合体的形式出现时，或一些具完全解理的矿物表面所见到的一种像蚕丝和丝织品那样的光泽，如虎睛石。

(6) 珍珠光泽

在珍珠的表面或一些解理发育的浅色透明宝石矿物表面，所见到的一种柔和多彩的光泽，如珍珠。

三、光泽在宝石鉴定中的应用

光泽是宝石的重要性质之一。在宝石的肉眼鉴定中，光泽可以提供一些重要的信息。经验丰富的鉴定人员，可以凭借光泽的特征将部分仿制品剔除或对不同的宝石品种进行初步的鉴定。如在斯里兰卡购买的一种混装宝石，其中主要的品种有尖晶石、锆石、石榴石，有经验者可以凭借锆石的亚金刚光泽而将锆石初选出来。如果鉴定者对粗糙的宝石断面有较深刻的认识，光泽可帮助鉴定未切割的宝石。可以利用放大镜来观察宝石的断面，玉髓、软玉等宝石其断面多具有油脂光泽，而绿柱石等单晶宝石的断面则多具玻璃光泽。光泽在宝石鉴定中的另一个应用是对拼合石的鉴定。在放大镜下观察拼合石的不同部位，往往显示不同的光泽。例如以玻璃为底、石榴石为顶的拼合石，由于石榴石的折射率较高，因而表现出强玻璃光泽。上下两部分光泽的差异足以引起鉴定者警惕。

虽然光泽可以作为宝石鉴定的依据之一，但是光泽不是绝对的鉴定依据，它需要与其他手段相配合，才能对宝石作出准确的鉴定。因为光泽除受自身因素影响之外，还会受到抛光程度等的影响。金刚光泽在宝石中是一种很强的光泽，但如果将一块切割和抛光不良的钻石与一块切割抛光都十分好的锆石放在一起，在近距离的明亮光线下观察，单凭光泽，即使是内行人也很难分得出来。

非均质宝石矿物晶体的光泽具有各向异性，相同单形的晶面表现相同的光泽，不同单形的晶面光泽略有差异。

第八节 宝石的透明度

一、透明度的物理定义

宝石的透明度是指宝石允许可见光透过的程度。宝石的透明度可以用透射系数τ来表示，假设入射光的强度为I_0，当光穿过一定厚度的介质后，强度减弱到I，则$\tau = I/I_0$，τ即为介质的透射系数。τ的值介于0～1之间，τ越接近1，宝石的透明度越高。

二、宝石中透明度的划分

宝石矿物的透明度范围跨越很大，无色宝石可以达到透明，给人以清澈如冰的感觉，而完全不透明的宝石则较少。在研究宝石的透明度时，应以同一厚度为准。

在宝石的肉眼鉴定中，通常将宝石的透明度大致划分为：透明、亚透明、半透明、微透明、不透明五个级别。

(1) 透明

能容许绝大部分光透过，当隔着宝石观察其后面的物体时，可以看到清晰的轮廓和细节，

如水晶。

（2）亚透明

能容许较多的光透过，当隔着宝石观察其后面的物体时，虽可以看到物体的轮廓，但无法看清其细节。

（3）半透明

能容许部分光透过，当隔着宝石观察其后面的物体时，仅能见到物体轮廓的阴影。如一些质量较好的电气石。

（4）微透明

仅在宝石边缘棱角处可有少量光透过，隔着宝石已无法看见其背后的物体，如黑曜岩。

（5）不透明

基本上不容许光透过，光线被宝石全部吸收或反射，如孔雀石。

三、影响宝石透明度的因素

宝石的透明度取决于宝石对光的吸收因数。吸收因数越大，透明度越低。而吸收因数的大小则与宝石内部的晶格类型有关。不同的晶格类型具有不同的吸收因数，从而表现出不同的透明度。金属晶格内部存在着大量的自由电子，自由电子的跃迁对光有明显的吸收，所以具有金属晶格的宝石矿物，如赤铁矿，透明度很低，几乎不透明。而原子晶格和离子晶格内，往往缺失自由电子，对光的吸收能力相对较弱，因此具有较高的透明度。钻石具有典型的原子晶格，可有很高的透明度。

此外，宝石的透明度还受厚度、自身颜色、颗粒结合方式、杂质、裂隙等因素的影响。

厚度对透明度的影响　同一品种不同厚度的宝石表现的透明度不同。厚度越大透明度越低。这是因为随着宝石厚度的增大，光在宝石中穿越的路程越长，宝石对光的吸收越大，也就是说入射光的光能消耗越大，宝石的透明度越弱。因此，在矿物学里以1cm厚度的矿片为标准来确定矿物的透明度级别。

颜色对透明度的影响　同一品种同一颜色系列的宝石，颜色越深，透明度越低，这是由颜色成因决定的。在晶体场中不同能级的电子跃迁可产生不同的颜色，而参与同一能级跃迁的电子数的多少则决定颜色的深浅，参与同一能级跃迁的电子数越多，对入射光能量消耗越多，宝石的颜色就越深，相应的透明度就越低。

杂质对透明度的影响　宝石中常含有一些细微的杂质，如晶体包体、气液包体或裂隙等。由于包体等杂质的折射率与主体宝石折射率的差异，入射光在包体与主体宝石的接触处发生折射、散射等，使通过宝石的光强度降低，从而使透明度降低。以乳石英为例，当无色透明的石英晶体中含有丰富的细小的气液包体时，这些细小的气液包体对入射光产生折射、散射，使原本透明的晶体呈现半透明的乳白色。

集合体结合方式对透明度的影响　宝石多为单晶矿物，而玉石则为单矿物集合体或多矿物集合体。同一种属的宝石矿物单晶体的透明度高于集合体的透明度，如无色纯净的水晶晶体清澈透明，而微粒石英的集合体即石英岩则表现为半透明至近不透明。这是因为当入射光进入矿物集合体时，光线在矿物集合体颗粒边缘发生了折射、散射，使部分光损失而造成集合体透明度降低。矿物集合体如玉石的透明度受其组成矿物粒度、颗粒边缘形态、颗粒边缘结合方式等因素的影响。矿物粒度越不均匀，排列越杂乱，颗粒边缘越不平直，则对光的折射、散射作用越强，透明度越低。这也是我们看到玉石材料很少有高透明度的原因。

第九节　宝石的发光性

矿物发光性是指矿物在外来能量的激发下，发出可见光的性质。能激发矿物发光的因素很多，如摩擦、加热、阴极射线、紫外线、X射线都可使某些矿物发光。在宝石学中经常遇到的是紫外线激发下的荧光和磷光。

荧光　宝石矿物在受外界能量激发时发光，激发源撤除后发光立即停止，这种发光现象称为荧光。

磷光　宝石矿物在受外界能量激发时发光，激发源撤除后仍能继续发光的现象称为磷光。

宝石矿物的发光性与晶格中微量杂质元素（通常小于1%）和某些晶体缺陷（陷阱）的存在密切相关。能引起宝石发光的杂质元素（多为过渡金属元素、某些稀土和锕系元素）通常称为激活剂。

宝石矿物的发光机制可用能带理论加以解释。由于组分纯净的宝石晶体的价带和导带间能量间隔较大，大于可见光的能量，因而电子受激跃迁所需的跃迁能必然较大，同时，跃迁电子从导带跃回价带时所释放出的能量也都大于可见光的能量，因而不发射可见光。但当晶体中存在少量的激活剂时，尤其是与晶体组分不等价的激活剂进入宝石晶格中，将导致宝石晶体在价带和导带之间产生新的局部能级，由此缩短带隙间的距离。电子在跃回过程中，将受激时额外所得的能量以可见光的形式释放出来，便产生发光现象。

若宝石矿物中所含的激活剂在带隙靠近价带附近形成一个附加能级，当宝石晶体受高能辐射时，在价带或局部能级的部分电子因受激进入导带而留下若干空的能态，称为空穴。价带中较高能态的电子受电场作用而填补这些空穴（进入较低能态），但它们又留下新的空穴，为此，空穴不断转移（即所谓自由空穴）。与此同时，进入导带的电子有足够的能量在晶格中移动（自由电子）跃迁使晶体离子化，产生自由电子与空穴心对。受激电子在导带中极不稳定，它们很快跃回价带或局部能级，当与某空穴复合时，以相当于可见光的能量释放出来，即产生荧光。

若宝石矿物中所含的激活剂在带隙靠近导带附近形成一个附加能级，当宝石晶体受激时，价带电子除跃入导带外，还有部分价电子跃入局部能级中，被陷阱所捕获，这些被捕获的电子通过热和光的激发，可以从陷阱中释放出来，再跃进导带，当激发源停止后，由于陷阱类型和一些杂质的影响，位于导带的电子还持续不断地跃回价带，并与其空穴复合，伴随这种复合不断发射一定波长的可见光，即产生磷光。

与宝石鉴定有关的发光类型主要为光致发光和阴极射线致发光。在实验室中，宝石的荧光的特点可作为宝石鉴定的依据之一。

第十节　宝石的特殊光学效应

前几节谈到了光的折射、反射、干涉、衍射等作用，这些作用在宝石中引起了一些特殊的光学效应，其中主要的光学效应有猫眼效应、星光效应、变彩效应、变色效应等。

一、猫眼效应

（一）定义

在平行光线照射下，以弧面形切磨的某些珠宝玉石表面呈现的一条明亮光带，该光带随

样品或光线的转动而移动的现象，称为猫眼效应。

（二）猫眼效应产生的机理

产生猫眼效应的条件：①宝石内必须具备一组密集、平行定向排列的纤维状、针管状或片状包体或某些特殊的结构（如固溶体出溶结构）；②弧面形宝石的底平面应与包体所在平面平行；③弧面型宝石的高度与反射光焦点平面高度相一致，并要注意使亮线平行于宝石的长轴。

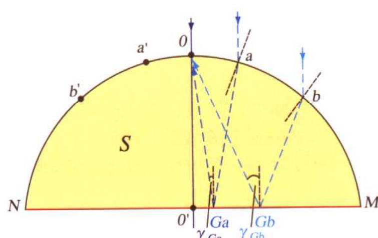


图 1-3-24 猫眼效应产生的示意图

猫眼效应是由宝石及宝石内一组密集、平行定向排列的包体或定向结构对可见光的折射和反射作用引起的。如图 1-3-24 所示，*S* 面为包含包体的 *NM*，并垂直猫眼“眼线”的弧面形宝石的纵切面。来自光源的光线照到宝石上时将发生以下几种情况。

1）沿 *O* 点入射的光线，即沿 *NM* 的法线入射的光线不发生折射而直接进入宝石。

2）沿 *a*、*b* 两点的入射光发生分解，部分光被折射进入宝石，遵循光从光疏进入光密介质时偏向法线方向折射的规律进行折射。从 *a*、*b* 两点进入宝石的折射光均靠向自身的法线方向，即造成靠向 *NM* 的法线 *OO′* 的方向折射。

3）从 *a*、*b* 两点进入宝石的光在抵达包体 *NM* 上的 *Ga*、*Gb* 两点时再发生分解，部分光被折射出 *NM* 面，另一部分光被反射再次抵达弧面形宝石的表面。

4）受弧面弧度的影响，相对来说由 *Ga* 点到 *Gb* 点的入射光的入射角是逐渐加大的。根据反射定律，反射角等于入射角，入射线、反射线及法线均处于同一平面内，因此 *Gb*、*Ga* 两点处的光反射角 $\gamma_{Gb}>\gamma_{Ga}$，两束反射光共处于 *S* 平面内，并使得这两束光相交于 *S* 平面内的一点。

5）以此类推，进入弧面另一侧 *a′*、*b′* 两点的光线同样经反射并相交于一点。当弧面形宝石的高度合适时，这四条反射光线可相交于弧面上一点。当宝石内平行排列的包体十分丰富时，由包体产生的反射光在弧面形宝石表面相交点的轨迹便形成了猫眼的眼线。

（三）弧面形宝石的高度与“眼线”宽度的关系

具有猫眼效应的宝石，其“眼线”出露的宽度和亮度受宝石自身折射率值及弧面形宝石的高度的影响。对于某一特定宝石来说，其折射率值是固定的，从包体反射回来的反射光焦点平面的高度是一定的（见图 1-3-25）。

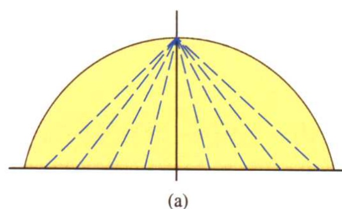
只有当弧面形宝石的高度与反射光焦点平面的高度相一致时，宝石的“眼线”才能表现为一条窄而亮的光带。当弧面形宝石的高度低于反射光焦点平面时，宝石的“眼线”则表现为一条宽而稀疏的带，光带亮度降低。一般来讲，宝石折射率越高，包体反射光的焦点平面越低，因此具有猫眼效应的宝石，折射率较高者其弧面高度可以相对较低，而折射率较低的宝石其弧面高度要相对增高，这样才能使猫眼效应表现得更明显。

（四）“眼线”摆动的原因

具有猫眼效应的宝石，随着宝石的摆动或光源的摆动，“眼线”相应摆动，且“眼线”逆光源方向移动。这是因为随着光源从宝石顶部向侧面移动时，相对法线来讲，光线的入射角不断加大，与此相伴随的反射光角度也增大，反射光的焦点平面发生相应移动所致。

（五）错误的加工导致眼线不正的原因

当弧面形宝石的底面与包体所在平面不一致而发生倾斜时，包体反射光的焦点平面向弧面形宝石的一侧移动。所以当弧面形宝石水平放置时，“眼线”位置不在正中(图 1-3-26)。



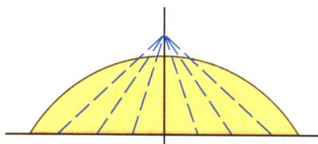


图 1-3-25 弧面形宝石的高度与“眼线”宽度的关系
(a)当弧面形宝石的高度与内反射线焦点一致时，“眼线”出露窄而亮；
(b)当弧面形宝石的高度低于内反射线焦点平面时，“眼线”变得宽和疏。

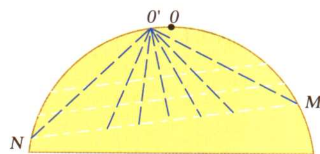


图 1-3-26 错误的加工导致“眼线”不正的原因
NM——包裹体所在平面；
O′——“眼线”出露位置；O——弧面形宝石最高点

二、星光效应

（一）定义

在平行光线照射下，以弧面形切磨的某些珠宝玉石表面呈现出两条或两条以上交叉亮线的现象，称为星光效应。每条亮带称为星线，通常多见二条、三条和六条星线。可分别称其为四射（或十字）、六射星线或十二射星光。星光效应多是由于内部含有密集平行定向排列的两组、三组或六组包体所致。

（二）星光产生的条件及形成机理

能产生星光的宝石须含有二组或二组以上定向排列的包体或定向排列的内部结构，且弧面形宝石的底面与这些包体或结构所在平面平行。星光效应的形成机理与猫眼效应形成的机理一样，是宝石及宝石内定向包体或结构对可见光的折射和反射作用引起的。所不同的是，在星光效应中包体或结构已不限于在一个方向上，这些包体按一定的角度分布，星光效应是几组包体与光作用的综合结果。红宝石矿物名称为刚玉，三方晶系，晶形呈六方柱状，在垂直结晶轴 Z 轴的平面内常含有三组呈细针状的金红石包体，相互之间以 60° 角相交。

将星光宝石中的星线分解来看，情况就会简单得多。从图 1-3-27 可知，每一条星线的形成机理与猫眼效应中的眼线形成是一样的，也就是说，图中每个方向的包体可以由折射、反射作用在弧面形宝石的表面形成一条亮的光带，光带的延伸方向与形成它的包体的排列方向垂直，即 R_1 光带是由 r_1 方向包体产生的，同样，R_2 方向的星线由 r_2 方向的包体产生，R_3 方向的星线由 r_3 方向的包体产生。在红宝石中，r_1、r_2、r_3 三个方向的金红石相互之间相交成 60° 角，因此在垂直轴的平面内 r_1、r_2、r_3 三个方向的金红石的排列可以抽象成为一个等边三角形的三个边，而由它们形成的三条亮带可以抽象成为等边三角形各边的垂直等分线。根据三角形的垂直平分线定理，这三条亮带必相交于一点，在切工完美的星光宝石中，此交点占据弧面形宝石的最高点，三条亮带相交后，则成为由交点发出的六条星线，随着光的转动，交点将作反方向转动。

产生十二射星光的原因是存在上述两套星光组合，如我国山东双重星光蓝宝石，由两组六射星光组成，两组星光以 30° 角交叉，构成十二射星光。当两组星光的颜色相同时，则光带的强度可以相同或交替改变。两组星光有时颜色不同，比较常见的组合有黄－绿、黄－棕、

黄－蓝、蓝－绿等。

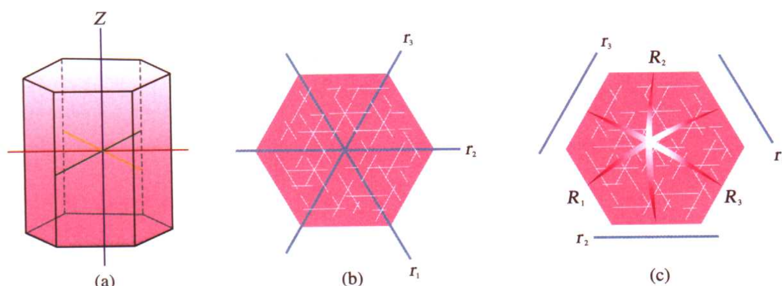


图 1-3-27 红宝石星光产生的原因
(a)红宝石晶体；(b)垂直Z轴平面内金红石排列的r_1、r_2、r_3三个方向；
(c)星线(R_1、R_2、R_3)与包体的关系：$R_1 \perp r_1$，$R_2 \perp r_2$，$R_3 \perp r_3$

三、变彩

（一）定义

宝石的特殊结构对光的干涉、衍射作用产生颜色，且颜色随着光源或观察角度的变化而变化，这种现象称为变彩。

（二）变彩的原理

变彩是由于光的干涉、衍射作用而引起的。根据杨氏双缝实验可知(图1-3-24)，来自光源的光沿箭头方向入射时，在狭缝处形成一个点光源，以确保到达S_1、S_2两个狭缝的光的性质是完全相同的，当性质完全相同的光通过S_1、S_2二个狭缝（即杨氏双缝）后，S_1、S_2便构成一对相干光源，从S_1和S_2发出的光将在空间叠加。如果光源为单色光，两个子波源的光在某个方向上的波程差为半波长的偶数倍在空间相遇时便得到加强，在屏幕EE'上显示亮的条纹；当两个子波源的光在某个方向上的波程差为半波长的奇数倍在空间相遇时便相互消减，在屏幕EE'上显示暗的条纹。如果光源为白色复合光，衍射和干涉的结果是白光中的单色光的条纹将按波长依次排开，其中心为白光，最靠近白光的为紫色，依次为蓝色、绿色，最远处为红色，上下两侧对称分布。

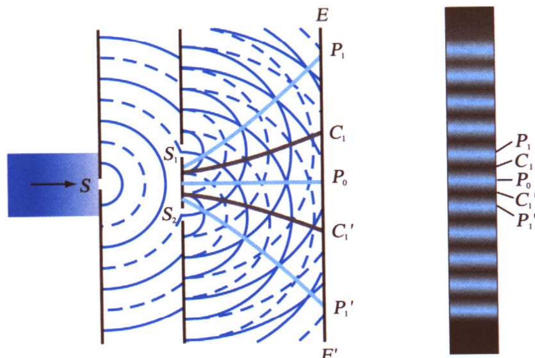


图 1-3-28 双缝干涉实验简图

杨氏试验是一个一维光栅的点间干涉，在宝石中经常遇到的则是二维空间的面干涉和三维空间的干涉情况，相对来说比较复杂。

（三）欧泊变彩的特点

欧泊是典型的具有变彩效应的宝石，其颜色及色斑变化特点归纳起来有以下几点。

1）一些灰白色的欧泊不出现色斑，仅显示蓝白色的乳光。

2）一些欧泊仅在灰白色基底上显示蓝、绿色色斑，即仅显示波长较短的颜色的色斑。

3）部分高档欧泊在白或黑色的基底上显示从紫到红的可见光光谱中的全部颜色的色斑。

4）色斑排列特点　同一块欧泊中不同颜色的色斑间杂分布，相邻色斑的颜色并不依可见光光谱色序排列。即红色色斑可直接与绿色色斑相邻，或在灰蓝色的基底中分散着几块颜色近于相同的红色色斑。

5）色斑颜色特点　同一色斑中颜色并不十分均匀，在色斑的边缘可出现按光谱色色序排列的相邻颜色。如红色色斑边缘可依次出现橙色、黄色、绿色色带。当转动欧泊或转动光源时，同一色斑的颜色将依光谱色色序变化。如红色色斑在转动时，随着转动角度的加大，红色色斑可依次向橙色、橙黄色方向变化。

（四）欧泊的变彩与结构的关系

欧泊的化学成分是$SiO_2 \cdot nH_2O$，在欧泊的结构中二氧化硅为近于等大的球体在三维空间作规则排列。通常，任意一个二氧化硅小球周围都有6个八面体空隙和8个四面体空隙。八面体空隙大小介于0.414～1倍小球直径之间。四面体空隙大小介于0.225～0.5倍小球直径之间。这样欧泊的结构便形成了最典型的天然三维光栅，在此，二氧化硅小球体及球间空隙分别相当于衍射单元和光栅常数。

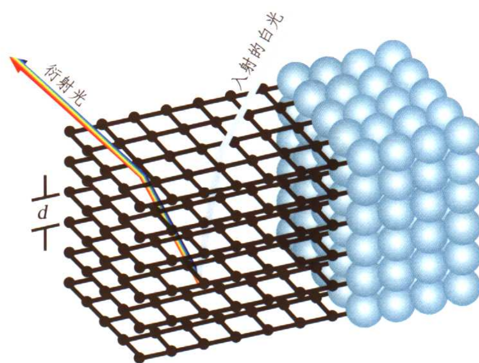


图 1-3-29 欧泊变彩效应

欧泊的特殊结构决定了其变彩能力和变彩特点。小球的直径、球体间隙的距离及观察角度直接决定了欧泊中色斑的颜色(如图 1-3-29)。

从布拉格公式（$n_1\lambda = 2Nd\sin\theta$）中得知，当光线垂直入射时，$\theta$为90°，即$\sin\theta = 1$，当$n_1$=1时，则有$\lambda = 2n_2d$，已知$n_2$=1.45，那么$d = \lambda/2.9$。因白色可见光$\lambda$处在700～400nm范围内，那么可产生衍射条件的间隙直径应在从d=700 ÷ 2.9=241nm到d=400 ÷ 2.9=138nm之间。若：①球体间隙距离在138～241nm之间时，可允许白光中所有波长的单色光通过，形成七彩欧泊；②球体间隙距离在138～204nm之间时，只允许紫至黄的五种光谱色的光通过，形成五彩欧泊；③球体间隙距离在138～176nm之间时，只允许紫至蓝绿的三种光谱色的光通过，形成三彩欧泊；④球体间隙距离在138～165nm之间时，只允许紫、蓝光通过，形成二彩或单彩欧泊。

研究表明，天然欧泊中二氧化硅小球体的堆积不是完全均一的。产生衍射的均匀堆积球体仅存在于大于1mm至小于1cm的小块区域内。每一个均一的小块区域构成了一个独立的三维衍射光栅，该小光栅对允许可见光通过的能力及衍射作用决定了与该光栅相对应的色斑大小及颜色特征。这从某个角度解释了欧泊中相邻色斑的颜色并不遵循可见光光谱色序排列的原因。每个色斑边缘出现相邻颜色色环的原因与转动欧泊时色斑颜色依可见光光谱色序发生变化的原因是一样的，其根本原因在于观察角度发生了变化，随着欧泊的转动，即观察角度的变化，人们看到的是该小光栅中衍射图谱中的另一个颜色，即与另一衍射角θ相对应的颜色。

四、变色效应

宝石矿物的颜色随入射光光谱能量分布或入射光波长的改变而改变的现象称为变色效应。

并不是所有的宝石都可产生变色效应，当宝石的可见光吸收谱满足某些条件时宝石才可能具有变色效应。以变石为例（变色机理详见第四章），变石的化学式为$BeAl_2O_4$，致色杂质离子为Cr^{3+}离子，Cr^{3+}离子的外层d电子跃迁吸收的能量为2.17 eV，介于红宝石（2.25eV）和祖母绿（2.04eV）之间，在可见光区域内，变石中红光和蓝绿光透过的几率近于相等。若利用日光灯去照射变石，则呈现蓝绿色；用白炽灯照射变石，则呈现红色（图1-3-30）。除变石外，蓝宝石和石榴石也可具变色效应。

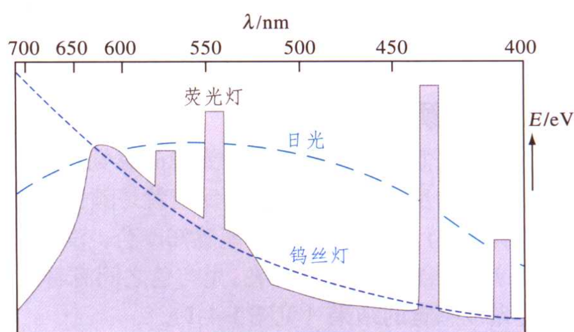


图1-3-30 变色效应产生的原理

第四章　宝石的颜色

第一节　宝石颜色的概念

一、颜色的定义

颜色是眼睛和神经系统对光源的感觉，它是光源在眼睛的视网膜上形成的讯号刺激大脑皮层产生的反应，这种生理的反应就是颜色的感觉。产生宝石颜色的三要素：光源、宝石和观察者（器）。没有光，就不能感知颜色；没有宝石，就无法感知颜色的对象；没有眼睛或观测器,就无法感知颜色的存在。光与色之间有着不可分割的密切关系,光是产生色的直接原因,色是光被感觉的结果（见图 1-4-1）。



图 1-4-1 颜色的产生示意图

二、可见光光谱

1. 可见光光谱

可见光是一种电磁波，在整个电磁波谱中，能引起人眼视觉的仅占很小部分（见图 1-4-2）。物理学上将波长在380～760nm之间可以被人的肉眼视觉的光称为可见光。不同波长的光具有不同的颜色，它们从长波一端向短波一端的顺序依次为红色(700nm)、橙色(620nm)、黄色(580nm)、绿色(510nm)、蓝色(470nm)、紫色(420nm)，两个相邻颜色之间可有一系列过渡色。

然而颜色与波长的上述对应关系并不是完全固定的，在光谱中除了三点即 572nm（黄）、503nm(绿)和478nm(蓝)的颜色不受光强度影响外，其余颜色在光强度增加时，都略向红色或蓝色偏移。如在光强度增加的条件下，原本 525nm 的绿色看上去微具蓝色(见图 1-4-3)。

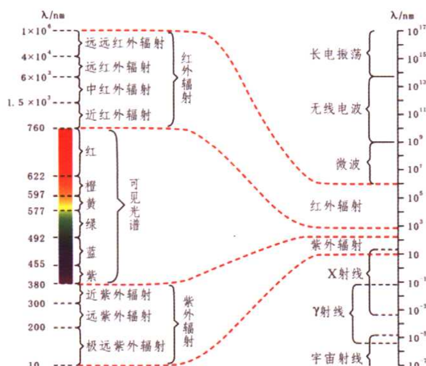


图 1-4-2 电磁波谱

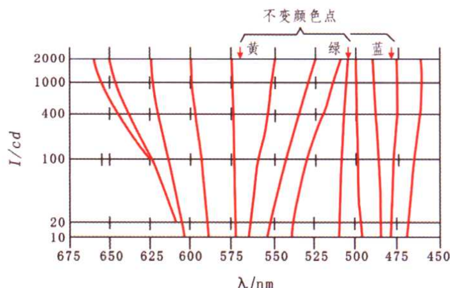


图 1-4-3 各种波长的恒定颜色线

2. 人眼对可见光光谱的分辨能力

人眼对可见光光谱有敏锐的分辨能力。在540nm附近及可见光光谱两端，人眼具有最高

分辨能力，在这些范围内，只要波长改变1nm，人眼便能分辨出颜色的差异；在多数部位需改变1～2nm，人眼才能分辨出颜色的变化。在整个可见光光谱中，正常视觉可分辨出100多种不同的颜色。

三、宝石的颜色及宝石颜色的分类

宝石的颜色　宝石的颜色是宝石对不同波长的可见光相互作用的结果。一般情况下，我们看到某一宝石的颜色，是由于宝石自身的致色因子对光源的不同波长或能量具有不同程度的选择性吸收和透射或反射所致。当光照射到宝石上，部分被反射，部分被吸收，部分被透过。透明的宝石以透射光为主，兼有对光的反射，颜色主要由透过的光谱组成所决定；不透明宝石以反射为主，兼有透射和吸收，颜色则以反射光谱为主。例如：我们看到的一粒红宝石的色调为红色，是因为红宝石中杂质铬离子不同程度地选择性吸收了光源中黄绿光和蓝紫光，而透射出橙、红光及部分蓝光（未被吸收的残余能量的组合）。宝石的颜色可分为非彩色系、彩色系两类。

彩色系　指太阳光谱中的各单色光及其复合色光，彩色除了有明度差异，还有色相和彩度的差异。宝石对不同波长的可见光选择性吸收时，宝石就有了各种颜色，所呈现的颜色是残余光中各色光的混合色，绝大部分宝石属彩色系列。

非彩色系　指由白色、黑色及它们之间过渡的灰色系列，称为黑白系列。纯白色反射率为100%，纯黑色为0。非彩色只有明度的差异。当反射率达到80%～90%以上时呈白色，吸收率在80%～90%以上时呈黑色，介于二者之间呈灰色。非彩色系列的宝石有无色钻石、无色水晶、无色长石，还有黑玛瑙、黑曜岩等。

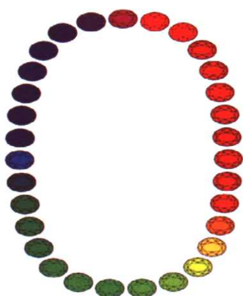
第二节　宝石颜色的表征方法

一、宝石颜色的表征方法

根据中国颜色体系国家标准，表征颜色的三个重要的物理量分别为：色相、明度、彩度。

1. 色相 Hue

色相（也称为色彩）是颜色的主要标志量，是各颜色之间相互区别的重要参数，红、橙、黄、绿、青、蓝、紫及其他的一些混合色名均是由色相的不同而加以区分之。色相的划分并非绝对，常见6色、8色、20色、100色，但无论数目多少，其划分方法仅有一种，即把各色相按太阳光谱中的波长顺序进行排列，构成一个色谱带（见图1-4-4）。彩色宝石的色相取决于对可见光的选择性吸收。


图1-4-4 GIA 31色相环图

由单色相组成的宝石，在自然界中几乎不存在，绝大多数宝石的颜色均是由多种不同波长的色相相互组合而形成的混合色。色相混合主要表现为以下三种：加色混合、减色混合、中性混合。以下仅讨论与宝石色相有关的加色和减色混合。

加色混合　即色光三原色（R、G、B）按不同比例混合，以获得更多的色相。加色混合效果是借助人的视觉器官来协调完成的，因而它是一种视觉混合。加色混合的作用是提高宝石的色相和明度，但其彩度不变。三原色按一定比例可混合为白色（见图1-4-5）。为标准化起见，国际照明委员会CIE（CIE是法文Commission International del’Eclairage的缩写词）

规定红、绿、蓝三原色的波长分别为700nm、546.1nm、435.8nm。通常取光通量为1光瓦的红基色光为基准，于是要配出白光，就需要4.5907光瓦的绿光和0.0601光瓦的蓝光，而白光的光通量则为：$\Phi_v = 1 + 4.5907 + 0.0601 = 5.6508$ 光瓦。

减色混合　指颜料三原色Y、M、C按不同比例的混合，混合后的色调成分越多，其黑浊度越大。三原色按一定比例混合则为黑色（见图1-4-6）。由加色混合和减色混合组成最常见的12色相环（见图1-4-7）。

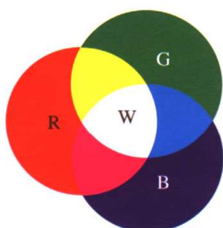


图1-4-5 色光三原色（R、G、B）

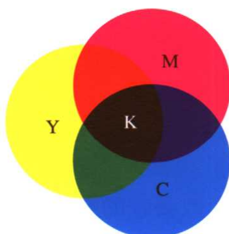


图1-4-6 颜料三原色（R、G、B）

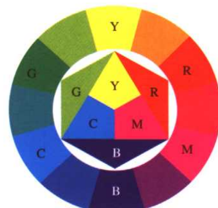


图1-4-7 12色相环

2. 明度 Value

明度（也称亮度Luminance或色调Tone）指光对宝石的透、反射程度，对光源来讲，即相当于它的亮度。明度是人眼对宝石表面的明暗感觉，一般而言，宝石的光反射率越高，明度越高。

3. 彩度 Chroma

彩度（也称饱和度Saturation）指彩色的浓度或彩色光所呈现颜色的深浅和鲜艳程度。对于同一色相的彩色光，其彩度越高，颜色就越深，或越纯；反之彩度越小，颜色就越浅，或纯度越低。高彩度的彩色光可因掺入白光而降低纯度或变浅，变成低彩度的色光。彩色光中灰色成分越多，其彩度越低。彩度以可见光谱中单色光为最高或最大，作为100 /100 =1，当混入其他色光后变不纯，其数值变小，纯白色的彩度等于零。彩度通常用*Pe*表示。色相、明度、彩度三者间的关系见图1-4-8。

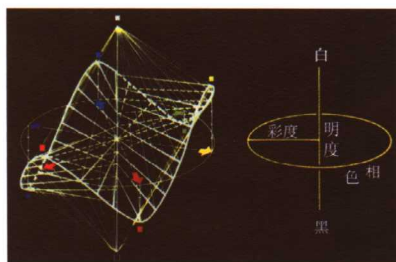


图1-4-8 色相—明度—彩度三者的关系

二、宝石颜色的测量

宝石颜色的定量或度量十分复杂，它涉及到观察者的视觉生理和心理、照明和观察条件等问题。定量表征颜色的体系称为表色系。

颜色定量测量常用的系统有CIE色度学系统和孟塞尔颜色系统。一般来说，两个系统测量的对象有所不同：CIE（国际照明委员会）色度学系统侧重于对色光的测量，孟氏系统则测量物体的表面色。色度学系统主要用色度坐标来描述光谱色和光谱混合色的明度、色相、彩度。现代色度学系统采用CIE所规定的一套颜色测量原理、数据和方法，即CIE标准色度学系统。孟塞尔颜色系统是用颜色立体模型表示表面色的一种方法(表色体系)。它可以把表面色的三种基本特性——明度、色相、彩度，用三维坐标形式全部表征出来。

1. 1931 CIE – XYZ 表色系

如果色光是单一波长的光，那么匹配所得到的数量就是这个单色光的刺激值。如果波长

遍及可见光范围，则得到刺激值按波长的变化，这个变化称为光谱三刺激值。CIE–RGB光谱三刺激值是317位正常视觉者，用CIE规定的红、绿、蓝三原色光，对等能光谱色从380nm到780nm所进行的专门性颜色混合匹配实验得到的。匹配光谱每一波长为等能光谱色所对应的红、绿、蓝三原色的数量，称为CIE–RGB光谱三刺激值，记为$r(\lambda)$、$g(\lambda)$、$b(\lambda)$。因此，匹配某波长λ的等能光谱色$C(\lambda)$的颜色方程为

$$C(\lambda)=r(\lambda)(R)+g(\lambda)(G)+b(\lambda)(B)$$

在颜色匹配实验中所得到的R、G、B的量值称为颜色三刺激值。在XYZ标准色度系中，光源、颜色、宝石的透射及反射颜色等自然界所能观察到的任何颜色均能由X、Y、Z这三个参数来表征，表示匹配某种颜色时所用的三原色的数量，即三刺激值。由于三刺激值X、Y、Z是三种独立的数值，即：

$$x=\frac{X}{X+Y+Z} \qquad y=\frac{Y}{X+Y+Z} \qquad z=\frac{Z}{X+Y+Z}$$

上式中：x、y、z为XYZ制的色度坐标，且三个色度坐标中有一个是不独立的，因而可以用x，y直角坐标系来表示各种色度，这种平面图形就是CIE色度图。

任何一个颜色（物体色或光源色），都能用独立的线性无关的三个原色适当地相加（减）混合与之匹配。实验证明：用红、绿、蓝三原色产生其他各种颜色最方便，所以这三种颜色是最优的三原色。三原色量的多少用三刺激值（X、Y、Z）表示，而其中的Y值表征物体色的明亮程度。CIE标准色度学系统用三刺激值X、Y、Z和色品坐标x、y、z来定量表示每一个颜色。对于无色或微带颜色的物质可通过三刺激值计算其“白度”（用黄度指数表示）来表征其颜色状况。

确定彩色的标准坐标系统，称为CIE色度图。图1-4-9中的偏马蹄形曲线是光谱轨迹，凡是偏马蹄形曲线内部的所有坐标点（包括这条封闭曲线本身）都是物理上能够实现的颜色。E点称为“等能白”，这是一个假想的白光，而用于颜色测量中的三个由CIE规定的标准光源A、C、D则分别位于E点的周围（物体的颜色与照明光源有关）。在该色度图上：①马蹄形曲线为400～700nm可见光光谱的轨迹，从光谱红端700～540nm的绿色光谱轨迹几乎是直线，此后光谱轨迹突然转弯，颜色从绿转为蓝—绿、蓝和紫色波段压缩在光谱轨迹尾部较短的范围内；②400～700nm的直线代表了非光谱色，它们是由紫光与红光混合而得到的一系列深浅不同的紫红与品红；③本坐标系统的三个原色点中，红原色(X)的坐标为x=1，y=z=0，绿原色(Y)

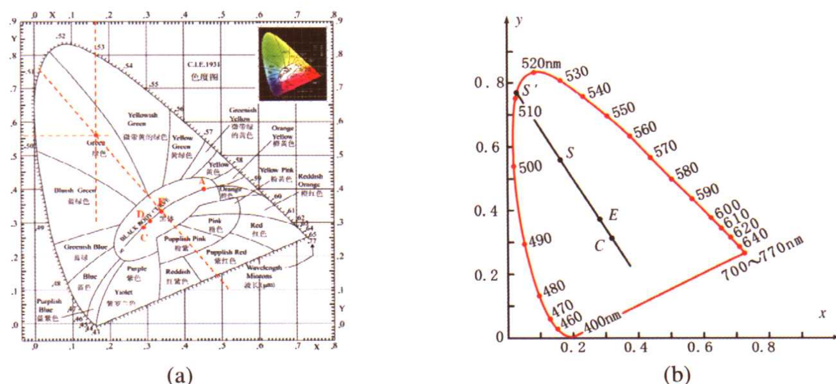


图1-4-9 CIE色度图(a)和CIE色度简图(b)

是 y=1，x=z=0，蓝原色(Z)是 z=1，x=y=0，都落在马蹄形光谱轨迹之外；④ y=0 的直线为无亮度线；⑤ E 是理论上的白光的投影点，由三原色 X、Y、Z 等量混合而成，其色度坐标为 x_E=0.333，y_E=0.333，z_E=0.3333，通过正点的任何直线与光谱轨迹相交两点所代表的颜色互为补色；⑥ C 点是 CIE 标准光源 C 的投影点，C 光源的色温为 6774K，代表平均日光。

根据颜色色度坐标值及色度图上的投影点可以较准确地了解颜色特点。如某宝石的颜色色度坐标值为 x=0.16，y=0.55，将 x、y 投影于色度图中得到投影点 S，过 SE 作直线并延长交光谱曲线于 S' 点，S' 点所指示的波长为 511.3nm，该波长值即是该颜色的主波长，它粗略地代表人眼对宝石颜色的感觉，说明该宝石的大致颜色为绿色。再看 S 点与光源坐标 E 点的距离，S 点越接近 E 点，说明该色纯度（相当于彩度）越低，即颜色越不鲜艳。刺激值中的 Y 值大致表示了该颜色的明度。

2. 按标准色样的表色系

孟塞尔表色系统是根据颜色视觉特点所制定的颜色分类和标定系统，已被国际上广泛采用作为分类和标定表面色的方法。孟塞尔用一个三维空间的类似球体模型来表示各种表面色的三种基本特性：色相、明度、彩度(见图 1-4-10(a))，其球体的中央轴代表无彩色白黑系列中性色的明度等级，白色在顶部，理想白色明度值定为 10，黑色在底部，理想黑色明度值为 0。如图所示，颜色立体水平剖面上的各个方向代表 10 种孟塞尔色相，分别用英文名称的字头表示：红(R)、黄(Y)、绿(G)、蓝(B)、黄红(YR)、绿黄(GY)、蓝绿(BG)、紫蓝(PB)、红紫(RP)。细分时每个色相又分成 10 个等级，从 1～10。样品离中央轴的水平距离代表彩度的变化，在孟塞尔系统中称为孟塞尔彩度，中央轴的彩度为 0，离开中央轴愈远，彩度数值越大。

为了便于使用，美国国家标准局和美国光学会不断修订并出版了孟塞尔颜色图册。最新版本的孟塞尔颜色图册包括两套：一套为有光泽样品版，一套为无光泽样品版。有光泽样品版共包括 1450 块颜色样品，附一套由白到黑的 37 块中性色样品 。无光泽样品版包括 1150 块颜色样品，附有 32 块中性色样品。

在孟塞尔图册中，颜色立体各色调的垂直剖面的颜色样品列入图册的同一页，全图册共 40 页。图 1-4-10(b)是颜色立体 5Y 和 5PB 两种色调的垂直剖面。如图所示，其中央轴表示 1～9 明度等级，右侧是黄色色调(5Y)的颜色，在明度值为 9 时，黄色的彩度最大，这一颜色是 5Y9/14。在孟塞尔图册中，颜色的标定办法为 HV/C，其中 H 代表色相，V 代表明度，斜线后的 C 代表彩度。例如某颜色的标号为 10Y8/12，它的色调是黄(Y)与绿黄(GY)的中间色，明度值为 8，彩度值为 12，从这些标号可知，该颜色是一较明亮的鲜艳的绿黄色。

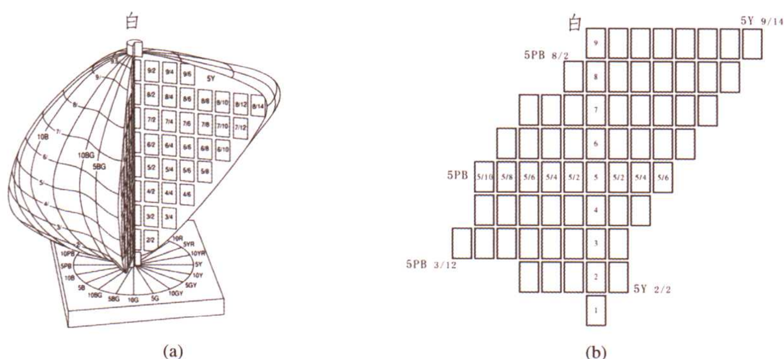


图 1-4-10 孟塞尔颜色立体示意图(a)和孟塞尔颜色立体的 Y-PB 垂直剖面(b)

3. GemDialogue系统

GemDialogue系统是珠宝界常用的立体颜色模型系统的一种。此系统借助各种颜色的塑料膜与宝石对比，来对宝石颜色三要素进行描述与评价。GemDialogue颜色手册由21张透明的颜色标尺(即色标)及3张色罩组成。它可以提供多达60000种的颜色标样。21张色标相当于21种色相，囊括了有色宝石主要的色相范围。每张色标上有10个彩度级别的颜色浓度带，分别为100，90，80，…，10，代表颜色彩度由大到小，以至近无色。色罩有透明黑/灰色、不透明黑/白色及透明褐色3种，每张色罩上也都有10种不同强度的色带，用于描述隐藏于颜色中的黑/灰色调或褐色调的强度及不透明宝石。

第三节 宝石颜色的成因

一、传统宝石学颜色成因

传统宝石学主要基于宝石的化学成分和外部构造特点，将宝石颜色划分为自色、他色和假色。

1. 自色

由作为宝石矿物基本化学组分中的元素而引起的颜色，这些致色元素多为过渡金属离子，如铁铝榴石、绿松石、孔雀石、蓝铜矿等。

2. 他色

由宝石矿物中所含杂质元素引起的颜色。他色宝石在十分纯净时呈无色，当其含有微量致色元素时，可产生颜色，不同的微量元素可以产生不同的颜色。如尖晶石，其化学成分主要是$MgAl_2O_4$，纯净时无色，含微量的Co元素时呈现蓝色，含微量Fe元素时呈现褐色，而含微量Cr元素时呈现红色。另外同一种元素的不同价态可产生不同的颜色，如含Fe^{3+}常呈棕色，含Fe^{2+}则呈现浅蓝色。同一元素的同一价态在不同的宝石中也可引起不同的颜色，如Cr^{3+}在刚玉中产生红色，在绿柱石中产生绿色。

3. 假色

假色与宝石的化学成分和内部结构没有直接关系，而与光的物理作用相关。宝石内常存在一些细小的平行排列的包裹体、出溶片晶、平行解理等。它们对光的折射、反射等光学作用产生的颜色就是假色。假色不是宝石本身所固有的，但假色能为宝石增添许多魅力，这一方面的具体内容已在宝石的特殊光学效应一节里进行了较详细的叙述。

二、近代科学宝石颜色的成因

随着科学的发展，人们发现宝石的颜色不仅仅取决于其化学组成，更重要的是取决于其内部结构。近代科学颜色成因理论打破了传统颜色成因理论中的自色、他色的界限，从晶体场理论、分子轨道理论和能带理论等的角度揭示了宝石颜色成因的本质。

（一）离子内部的电子跃迁呈色(晶体场理论)

晶体场理论研究的对象是处于宝石晶体结构中的过渡金属元素和某些镧系、锕系元素。它把晶体场看成一种正负离子间的静电作用，将带有正电荷的阳离子称为中心离子，把带有负电荷的阴离子和络阴离子统称为配位离子，或简称配位体。晶体场理论与其他理论的区别在于，它把配位体处理为一个点电荷，点电荷作用的实质是产生静电势场力，这种静电势电

场又被称之为晶体场。晶体场跃迁包括 *d*-*d* 跃迁和 *f*-*f* 跃迁。元素周期表中第四、五周期的过渡金属元素分别含有 3*d* 和 4*d* 轨道，镧系和锕系元素分别含有 4*f* 和 5*f* 轨道。在配位体的存在下，过渡元素五个能量相等的 *d* 轨道和镧系元素七个能量相等的 *f* 轨道分别分裂成几组能量不等的 *d* 轨道和 *f* 轨道。当它们的离子吸收光能后，低能态的 *d* 电子或 *f* 电子可以分别跃迁至高能态的 *d* 或 *f* 轨道，这两类跃迁分别称为 *d*-*d* 跃迁和 *f*-*f* 跃迁。由于这两类跃迁必须在配位体的配位场作用下才可能发生，因此又称为配位场跃迁。

过渡金属元素的 *d*-*d* 电子跃迁引起宝石颜色变化的最好例子是红宝石、祖母绿及变石，图 1-4-11 为三者的紫外可见吸收光谱。

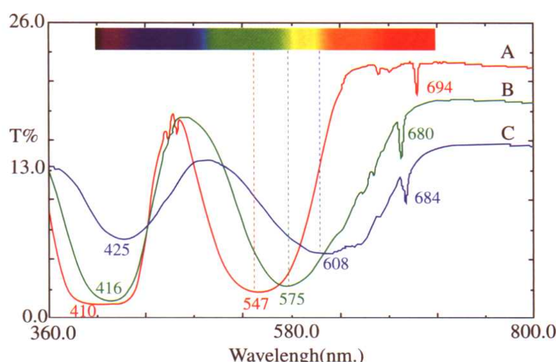


图 1-4-11　红宝石、祖母绿及变石的 UV 吸收光谱

A——红宝石；B——变石；C——祖母绿

红宝石中致色离子为 Cr^{3+}，从 Cr^{3+} 的 $3d^3$ 电子组态导出的自由离子谱项为：基谱项为 4F，激发谱项为 4P、2G、2D 等。八面体场中，由基谱项 4F 分裂为三个能级，即 $^4A_2$、$^4T_2$、$^4T_1$。红宝石的吸收光谱特征表明，在可见光区域内，出现两个强而宽的吸收带，分别由 $^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$、$^4A_2 \rightarrow {}^4T_1$ 能级之间的跃迁所致。*d* 电子在 $^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$、$^4A_2 \rightarrow {}^4T_1$ 能级间跃迁的过程中，分别吸收 2.25 和 3.02eV 能量，其余吸收后的残余能量组合成红宝石的颜色（见图 1-4-12）。

祖母绿吸收光谱特征表明（见图 1-4-13），在可见光区域内，出现两个强而宽的吸收带，分别由 $^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$、$^4A_2 \rightarrow {}^4T_1$ 能级之间的跃迁所致。*d* 电子在 $^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$、$^4A_2 \rightarrow {}^4T_1$ 能级间跃迁的过程中，分别吸收 2.04 和 2.92eV 能量，其余吸收后的残余能量组合成祖母绿的颜色。

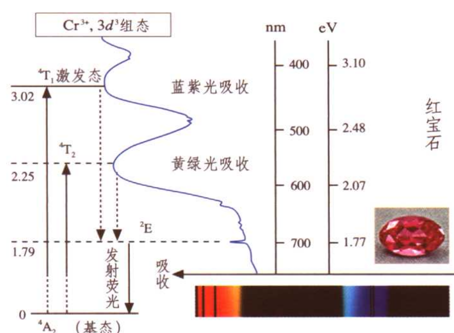


图 1-4-12　红宝石的 UV 吸收光谱

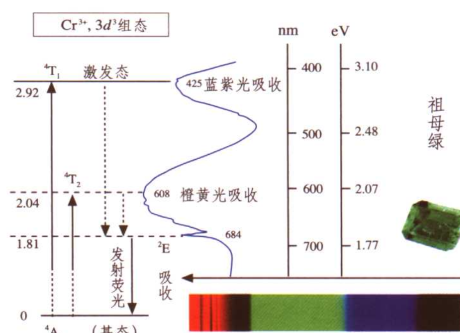


图 1-4-13　祖母绿的 UV 吸收光谱

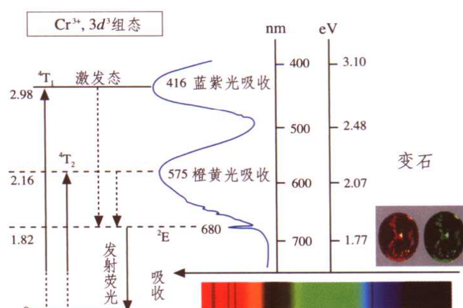


图 1-4-14 变石的 UV 吸收光谱

变石的化学式组成（$BeAl_2O_4$）介于红宝石和祖母绿之间，影响铝氧八面体的金属离子只有Be一种，因此Cr^{3+}离子与周围配位体电场强度低于红宝石而高于祖母绿，它的金属氧离子之间化学键的性质也介于红宝石和祖母绿之间。变石中Cr^{3+}离子$^4A_2 \rightarrow {}^4T_2$跃迁吸收的能量为2.16eV，介于红宝石(2.25eV)和祖母绿(2.04eV)之间，而$^4A_2 \rightarrow {}^4T_1$跃迁所吸收的能量(2.98eV)与红宝石和祖母绿相差不大。在可见光区域内，变石中红光和蓝绿光透过的几率近于相等，于是外部环境的光源条件（色温）就决定了变石的颜色。例如，色温较高的日光灯中蓝绿色成分偏多，导致变石中蓝绿色成分的叠加，而呈现蓝绿色。反之，白炽灯光源中色温偏低，导致变石中红色成分的叠加，而呈现红色（见图 1-4-14）。

（二）离子间的电荷迁移呈色（分子轨道理论）

分子中单个电子的状态函数称为分子轨道。根据分子轨道模型，认为一个分子中所有的轨道都扩展至整个分子上。占据这些轨道的电子不是定域在某个原子上，而是存在于整个分子之中。根据分子轨道理论，电子可以从这一个原子轨道上跃迁到另一个原子轨道上去，这种电子跃迁称为电荷迁移。

某些分子既是电子给体，又是电子受体，当电子受辐射能激发从给体外层轨道向受体跃迁时，就会产生较强的吸收，这种光谱称为电荷迁移光谱。伴随电荷转移，在吸收光谱中产生强吸收带，如果电荷转移带出现在可见光范围内，则产生相应的颜色。电荷迁移有多种形式，它可以发生在同核原子价态之间，也发生在异核原子价态之间。

1. 金属—金属原子间的电荷迁移

金属—金属原子间的电荷迁移可分为同核原子价态之间的电荷迁移和异核原子价态之间的电荷迁移。

（1）同核原子价态之间的电荷迁移

同核原子价态之间的电荷迁移来自不同价态的同一过渡元素的两个原子之间的相互作用，当两个不同价态的同核原子分布在不同类型的格点中，且两者之间有能量差时，电子可发生转移，并产生光谱吸收带，从而使宝石呈现颜色。堇青石的蓝紫色的产生是这种情况的典型实例。在堇青石中，Fe^{3+}和Fe^{2+}分别处于四面体和八面体位置中，两个配位体以共棱相接，当可见光照射到堇青石时，其Fe^{2+}的一个d电子吸收一定能量的光跃迁到Fe^{3+}上，此过程的吸收带位于17000cm^{-1}(相当于黄光)，使堇青石呈现蓝色。蓝色、绿色电气石和海蓝宝石也是由于Fe^{2+}-Fe^{3+}间的电荷迁移而呈的色。

（2）异核原子价态之间的电荷迁移

异核原子价态之间的电荷迁移的典型实例是蓝宝石（见图1-4-15），在蓝宝石中Fe^{2+}与Ti^{4+}分别位于相邻的以面相连接的八面体中，Fe、Ti离子的距离为0.265nm，二者的d轨道沿结晶轴

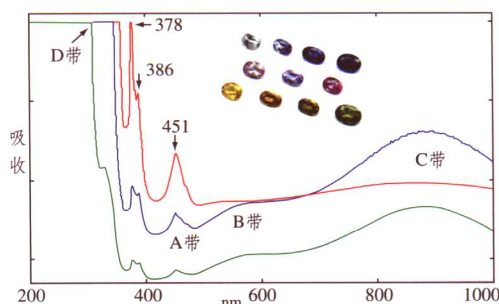


图 1-4-15 蓝宝石的 UV 吸收光谱

重叠，当电子从 Fe^{2+} 中跑到 Ti^{4+} 中时，Fe^{2+} 转变为 Fe^{3+}，而 Ti^{4+} 转变为 Ti^{3+}，即 $Fe^{2+}+Ti^{4+} \rightarrow Fe^{3+}+Ti^{3+}$。电荷迁移的这一过程，伴随着的光谱吸收能为2.11eV，吸收带的中心位于588nm，其结果是在蓝宝石的 c 轴方向只透过蓝色，呈现蓝色。当两个八面体在垂直 c 轴方向上以棱相连接时，这时电荷转移吸收带略向长波方向位移，使蓝宝石在非常光方向上呈现蓝绿色。异核原子价态之间的电荷迁移，也是蓝色黝帘石、褐色红柱石呈色的原因。

2. 其他类型的电荷迁移

除了上述两种类型的电荷迁移外，还有非金属与金属原子之间的电荷迁移和非金属与非金属原子之间的电荷迁移。

宝石中常见的非金属与金属原子之间的电荷迁移为 $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$。$O^{2-}$ 与 Fe^{3+} 之间的电荷迁移对可见光光谱中紫色、蓝色光强烈吸收，导致宝石呈金黄色。金黄色绿柱石、金黄色蓝宝石的颜色均由 $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$ 之间的电荷迁移引起。

（三）能带间的电子跃迁呈色（能带理论）

能带理论是研究宝石材料的一种量子力学模式，是分子轨道理论的进一步发展。它较好地解释了天然彩色钻石的呈色机理及其金刚光泽的产生原因。能带理论认为：固体中电子并非束缚于某个原子上，而为整个晶体所共有，并在晶体内部三维空间的周期性势场中运动。电子运动时的能量具一定的上下限值，这些电子运动所允许的能量区域就称之为能带。它与晶体场理论和分子轨道理论的区别是：晶体场理论和分子轨道理论主要适用于局部离子和原子团上的电子，电子是定域的，是局部态之间的跃迁；能带理论则与之相反，它认为电子是不定域的，是非局部态之间的电子跃迁。能带又可分为：①导带（又称空带），由未填充电子的能级所形成的一种高能量带。②带隙（又称禁带），价带最上部的面(又称为费米面)与导带最下部面之间的距离，禁带的宽度随矿物键性的不同而不同；③价带(又称满带)，由已充满电子的原子轨道能级所构成的低能量带，当自然光通过宝石时，宝石将吸收能量使电子从价带跃迁至导带，所需的能量取决于带隙的宽度,即价带顶部与导带底部间的能量差，又称能量间隔，一般用 $\triangle Eg$ 表示。不同的宝石由于能量间隔不同而呈现不同的颜色。与晶体场理论一样，电子从导带返回至价带的过程中,其吸收的能量仍以光的形式发射出来。例如，IIa型钻石带隙的能量间隔（$\triangle Eg$= 5.4eV）大于可见光的能量，即电子从价带跃迁至导带时吸收的能量为5.4eV，故吸收主要发生在紫外光区，对可见光能量无任何吸收，故理论上，IIa 钻石为无色（见图 1-4-16）；由于 Ib 型钻石中含有微量的孤氮原子，氮原子外层电子（$1s^2\,2s^2\,2p^3$）比碳原子（$1s^2\,2s^2\,2p^2$）多一个，额外的电子则在禁带中生成一个杂质能级（氮施主能级），由此缩小了带隙的能量间隔，电子从杂质能级跃迁至导带所吸收的能量为2.2eV（564nm），故该类钻石显橙黄色（见图 1-4-17）。

（四）晶格缺陷呈色

宝石晶体结构中的局部范围内，质点的排列偏离其格子状构造规律（质点在三维空间作周期性的平移重复）的现象，称为晶格缺陷。其产生原因与宝石晶体内部质点的热振动、外界的应力作用、高温高压、辐照、扩散、离子注入等有关。

例如，在上地幔的高温高压环境中结晶出的金刚石晶体，被寄主岩浆（金伯利岩岩浆或钾镁煌斑岩岩浆）快速携带到近地表时，温压条件的迅速改变和晶体与围岩物质的相互碰撞，则易导致侵位金刚石晶体的结构局部发生改变，并诱发晶格缺陷，使一部分原本无色的金刚石的颜色发生改变，从而形成褐黄、棕黄色及粉红色金刚石。

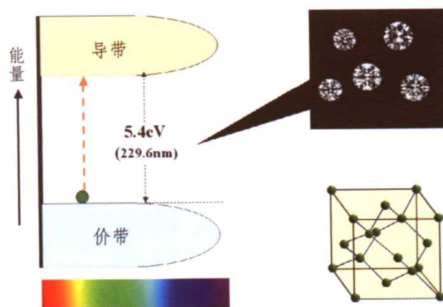


图 1-4-16 IIa 型钻石中电子跃迁图示

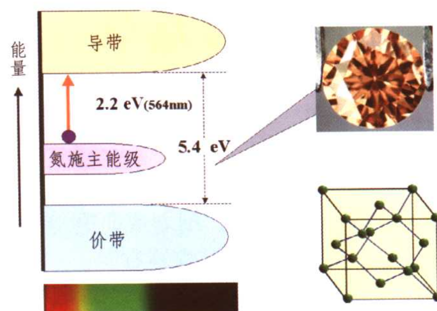


图 1-4-17 Ib 型钻石中电子跃迁图示

色心作为晶格缺陷的一种特例，泛指宝石中能选择性吸收可见光能量并产生颜色的晶格缺陷。属典型的结构呈色类型。色心的种类十分复杂，但最常见的为电子心（F 心）、空穴心（V 心）及杂质离子心。

1. 电子心（F 心）

电子心（F 心）是由宝石晶体结构中阴离子空位引起的。就整个宝石晶体而言，当阴离子缺位时，空位就成为一个带正电的电子陷阱，它能捕获电子。如果一个空位捕获一个电子，并将其束缚于该空位，这种电子呈激发态，并选择性吸收了某种波长的能量而呈色。因此，电子心是由一个阴离子空位和一个受此空位电场束缚的电子所组成的。例如，紫色萤石晶体中的氟离子离开正常格位，而形成一个阴离子空位（缺少负电荷），该结构位显示正电性，形成一个带正电的电子陷阱。为了维持晶体的电中性，阴离子空位必须捕获一个负电子，由此产生了颜色。

2. 空穴心（V 心）

空穴心（V 心）是由晶体结构中阳离子缺位引起的。从静电作用考虑，缺少一个阳离子，等于附近增加了一个负电荷，则附近一个阴离子必须成为“空穴”才能保持静电平衡。因此，空穴心是由一个阳离子空位捕获一个“空穴”所组成的。例如，烟晶中以类质同象形式替代 Si^{4+} 的 Al^{3+} 杂质，在晶格位中形成正电荷不足的位置(正电荷陷阱)，为了维持暂时的电中性，Al^{3+} 离子周围必须有相应的正一价阳离子存在。当水晶受到辐照后，与最近邻的 O^{2-} 将失去一个多余的电子，而残留下一个空穴，形成空穴心（V 心）。利用辐照源的带电粒子（加速电子、质子）、中子或射线辐照宝石，通过带电粒子、中子或 γ 射线与宝石中离子、原子或电子的相互作用,最终在宝石中形成电子 - 空穴心或离子缺陷心。如辐照处理钻石、蓝黄玉等，辐照的本质是提供激活电子、格位离子或原子发生位移的能量，从而形成辐照损伤心。

第五章　宝石的力学性质

第一节　硬　度

宝石抵抗外来压入、刻划或研磨等机械作用的能力称为宝石的硬度。宝石的硬度与其晶体结构、化学键、化学组成等有关。

宝石的硬度可分为绝对硬度和相对硬度。绝对硬度是通过硬度仪在标准条件下测定的。宝石的相对硬度（或比较硬度）是与规定的标准矿物比对得出的相对刻划硬度，在鉴定宝石中最有意义。常用的相对硬度表是摩氏硬度（H_M）表或称摩氏硬度计。摩氏硬度计是德国矿物学家Friedrich Mohs在1822年根据10种标准矿物的相对硬度确定的定性级别，共分为十个级别，详见表1-5-1。在摩氏硬度中，金刚石最硬（H_M=10），滑石最软（H_M=1）。如果一个未知矿物能够刻划正长石（H_M=6），但又能被石英（H_M=7）所刻动，这个未知矿物的摩氏硬度就介于6和7之间，近似定为6.5，或记为61/2。

在使用摩氏硬度计时，人们还以下面一些常见物质的相对硬度加以补充。

指甲：2.5

铜针：3

窗玻璃：5～5.5

刀片：5.5～6

钢锉：6.5～7

1935年Charls Woodel以标准化磨蚀法为基础，对摩氏硬度表提出修正，刚玉的硬度仍为9，而金刚石的硬度为42.5，称为Mohs-Woodel硬度。虽然修订后的更为合理，但在宝石和矿物鉴定工作中仍沿用了最初的摩氏硬度。

另两种常用的测量硬度标度为Knoop标度（H_K）和Winkler标度（H_w，也称维氏压入硬度），以在被测量物体抛光表面产生永久性变形每单位面积所需的力来计算其硬度。它们的硬度值接近物体的绝对硬度（见表1-5-1）。

表1-5-1 硬度对照表

矿物	H_M	Mohs-Woodel硬度	维氏压入硬度 H_w/ kg · mm^{-2}	罗氏相对研磨硬度（以石英为100）
滑石	1	1	2	0.03
石膏	2	2	35	1.04
方解石	3	3	172	3.75
萤　石	4	4	248	4.17
磷灰石	5	5	610	5.42
正长石	6	6	930	31.0
石　英	7	7	1120	100
黄　玉	8	8	1250	146
刚　玉	9	9	2100	833
金刚石	10	42.5	~10000	117000

对某种宝石矿物来说，其硬度是基本固定不变的，可作为鉴定宝石的依据。但需要指出的是，某些矿物晶体的硬度具一定的方向性差异，即在不同结晶方向上其硬度有不同程度的变化，这种差异硬度是宝石晶体结构中原子键合面和键合方向的规则排列所致。如金刚石，其平行立方体{100}面对角线方向的硬度最大，平行菱形十二面体{110}面短对角线的方向硬度最低。金刚石粉末的方向是随机的，可能含有大量硬度较高方向的尖粒。因此，金刚石抛光粉可以抛磨钻石戒面。又如蓝晶石在平行柱面延长方向上摩氏硬度约为4.5～5，而在垂直延长方向上为约6.5～7。但是，硬度作为宝石矿物的固有性质，其各个方向尽管存在着硬度差异，但这种差异是服从晶体本身的对称性的，如钻石所有八面体方向的硬度特征都是相同的，立方体方向的硬度特征也是相同的。

另外，对摩氏硬度计需要说明的是，其十个标准矿物之间的硬度差异不是等间距的。例如，硬度为10的钻石和硬度为9的刚玉之间的硬度差异，实际上远远大于刚玉与硬度为1的滑石之间的硬度差异的总和（见图1-5-1）。

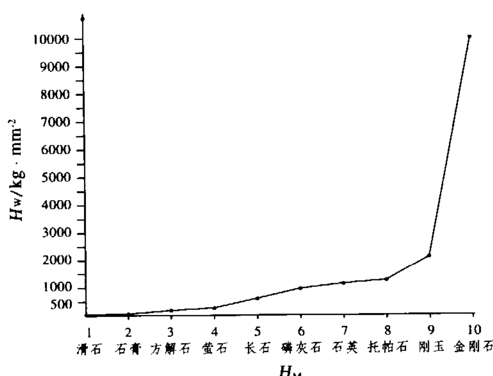


图1-5-1 摩氏硬度标准矿物之间的硬度差异

在实际工作中，为了便于硬度的测试，可以把摩氏硬度的10个标准矿物黏结在笔杆上制成摩氏硬度笔。用硬度笔测试硬度应遵循先软后硬的顺序，以便在被测宝石矿物表面仅留下惟一刻痕。为了使宝石表面的刻痕尽量小，最好用压刻方法，然后用放大镜观察是否出现小的压刻痕迹。刻划硬度属一种破坏性测试方法，一般仅用于宝石原料的测试，或在成品宝石不显眼的部位进行测试。此外，硬度在宝石加工中对抛光材料的选择也具有一定的指导意义，例如翡翠、软玉、青金石等是由软硬不同的矿物组成的集合体，使用磨料的硬度须明显高于其中最硬矿物的硬度，否则会在不同硬度矿物表面出现高低不平的微观小坑或突起，如使用金刚石粉末，这种现象就可避免。

空气中灰尘的主要成分是石英，其硬度为7。硬度小于7的宝石抛光面，由于经常受到空气中灰尘的撞击磨蚀，表面会变“毛”而失去其原有光泽，这是一些年久的镶宝首饰的肉眼鉴定特征之一。

第二节 韧 度

韧度是指物质抵抗打击撕拉破碎的性能，与脆性近似对应。受打击易碎裂为脆性，反之，抗打击撕拉碎裂性能强者具韧性，所以也称韧度为打击硬度。

韧度与硬度的关系不具正相关的关系，韧度与矿物的晶体结构构造有关。无色单晶金刚石晶体的韧度远不如为微晶（连晶）集合体的黑金刚石的韧度大。纤维交织结构的玉石具有较高的韧度。

常见宝石的韧度从高到低的排序为：黑金刚石、软玉、翡翠、刚玉、金刚石、水晶、海蓝宝石、橄榄石、绿柱石、黄玉、月光石、金绿宝石、萤石。

钻石是硬度最高的物质，但同时也是脆性宝石，加上其有解理，因此不宜受碰撞。锆石的硬度也较高（H_M=6.5～7.5），但其脆性也较强，常因与欠柔软的包装材料碰撞而使其刻面棱受损，这种现象称为“纸蚀”。

第三节　解理、裂开、断口

解理、裂开和断口都是矿物在外力作用下发生破裂的性质，但它们破裂的特征及与之有关的因素各有不同。三者均是鉴定宝石和加工宝石的重要参考要素之一。

一、解理

解理是指宝石晶体在外力作用下，沿一定的结晶学方向裂开成光滑平面的性质。这些裂开的平面称为解理面。

由于晶体具异向性，在不同的结晶方位上键力存在差异，解理往往是沿面网化学键力最弱的方向产生。具体为：①解理面一般平行于面网密度最大的方向，因面网密度大，面网间距相应也大，面网间的引力就小，故解理易沿此方向产生，例如金刚石的{111}完全解理；②当相邻面网为同号离子的面网时，其间易产生解理，同号离子的斥力使其相邻面网间的连接力减弱，如萤石沿{111}方向是由F^{-1}组成的两个相邻面网，故沿{111}方向易产生完全解理；③平行化学键力最强的方向，如石墨为层状结构，层内C—C离子间距为0.142nm时具共价键，而层间距离为0.335nm时具分子键，显然层内键力大于层间键力，故沿{0001}层方向产生极完全解理。

根据形成解理的难易程度和解理面发育的特点把宝石常见的解理分为极完全解理、完全解理、中等解理和不完全解理四类（见图1-5-2、表1-5-2）。



图1-5-2 解理

(a)白云母极完全解理；(b)方解石完全解理；(c)长石中等解理；(d)绿柱石不完全解理

表1-5-2 解理分级表

解理级别	难易程度	解理面特点	实例
极完全解理	极易裂成薄片	光滑平整的薄片	云母、石墨，宝石中少见
完全解理	容易裂成平面或小块，断口难出现	光滑平整闪光的平面，可呈台阶状	金刚石、黄玉、萤石、方解石
中等解理	可以裂成平面，断口较易出现	较平整的平面，不太连续，欠光滑	金绿宝石、正长石
不完全解理	不易裂成平面，出现许多断口	不平整、不连续，带有油脂感	磷灰石、锆石、橄榄石

宝石的解理不但可以作为鉴定宝石矿物的依据，同时在宝石加工等方面也具有重要的指导意义。宝石的解理发育情况，在某种程度上影响宝石的抛光效果。如黄玉底面解理发育，故在加工时应尽量避免刻面与解理面方向平行，否则会出现粗糙不平的抛光面。金刚石的八面体解理有助于工匠沿解理方向劈开金刚石；冰洲石的菱面体解理也是工匠常用的劈开方向。解理是宝石可能具有的固有性质，不管它是否遭受力的作用，它总是存在或不存在的。它的

存在服从于宝石的对称性，常用与解理平行发育或可能发育的单形符号表示。如钻石，结晶完美的钻石尽管它不存在任何裂隙，但它平行{111}方向的完全解理总是存在的，即一旦遭受力的作用，它就会平行{111}方向破裂产生解理面。

二、裂开

裂开（又叫裂理）也是晶体受力后沿一定结晶方向裂开的性质。（见图 1-5-3）其与解理的区别在于形成裂开多沿双晶结合面发生，尤其是沿聚片双晶结合面或内部包体出溶面发生，裂面的平整光滑程度不如解理面。例如刚玉具有平行菱面体的聚片双晶，故常沿菱面体发育裂理，其另一组常见裂理发育于与底面平行的方向。

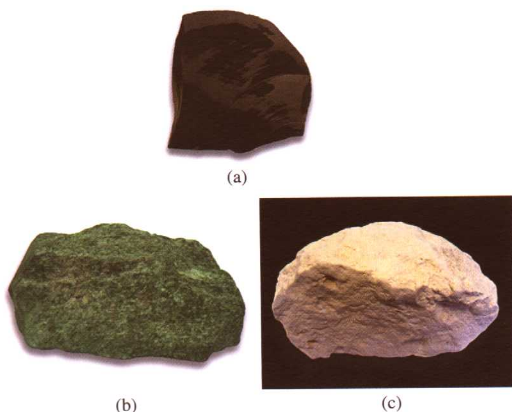


图 1-5-3 蓝宝石平行底面裂开

裂开不是晶体的固有性质，只有当晶体中存在双晶结合面或包体出溶面时才有可能存在，另外，裂理的存在可以不服从宝石本身的对称性。

三、断口

宝石受外力作用随机产生的无方向性不规则的破裂面称为断口。（见图 1-5-4）任何晶体和非晶体宝石矿物都可以产生断口，但容易产生断口的宝石矿物，由于其断口常具有一定的形态，因此可以作为鉴定宝石矿物的辅助特征。常见有以下几种类型的断口。



(a)

(b) (c)

图 1-5-4 常见断口

(a)黑曜岩贝壳状断口；(b)石英岩不平坦状断口；(c)高岭石土状断口

贝壳状断口：断口呈圆形的光滑曲面，面上常出现不规则的同心条纹，形似贝壳状，如玻璃、水晶、锆石等的断口为贝壳状断口（见图 1-5-4(a)）。

不平坦状断口：断口表面近平面，但粗糙不平，常出现于一些粒状结构的岩石中，如石英岩、翡翠等玉石和磷灰石的断口（见图 1-5-4(b)）。

土状断口：为似土状矿物所具有的粗糙断口，多出现在次生矿物中，如质量较差的绿松石和高岭石等（见图 1-5-4(c)）。

第四节 密 度

在物理学中，密度指某种物质单位体积的质量，用符号 ρ 表示。通常以物质的质量 m 与其体积 v 的比值来度量，定义式为：

$$\rho = m/v$$

密度的计量单位为 g/cm^3。密度是宝石重要的性质之一，并与宝石的晶体化学和晶体结构密切相关，如原子量、离（原）子半径的大小和结构堆积的紧密程度等。晶体结构与其形成过程的物理化学环境有关。石墨与金刚石同为碳元素组成，但二者结晶环境不同，晶体结构各异，密度也相差甚远：石墨的密度为 $2.09 \sim 2.23 g/cm^3$，金刚石的密度为 $3.47 \sim 3.56 g/cm^3$。

尽管度量密度有助于鉴定宝石，但在实际测试过程中，许多刻面宝石、不规则晶体及形态各异雕件的体积是难以精确测定的。

由于密度的测定与计算十分复杂，在宝石学中并不测量宝石的密度，而是测定其相对密度。相对密度是指宝石的质量与同体积4℃水的质量的比值，属无量纲。由于相对密度容易测定，而其值与密度值十分接近，二者换算系数仅0.0001，完全可以把相对密度值作为密度的近似值，因而相对密度在宝石鉴定中得到了广泛的应用。相对密度的测定方法有多种，宝石学中常用静水称重法，其计算公式为：

$$\text{相对密度}\ (d) = \frac{\text{宝石在空气中的质量}}{\text{宝石在空气中的质量} - \text{宝石在4℃水在的质量}}$$

相对密度是宝石的重要物理参数之一，在鉴定和分选上具重要的意义。必须指出，同一种宝石，由于化学成分的变化、类质同象的替代和包体、裂隙的存在均会影响宝石的相对密度。

第六章　宝石的热学、电学性质

一、热电效应

物理学中的热电效应，是指受热物体中的电子随着温度梯度由高温区向低温区移动时，产生电流或电荷堆积的一种现象。温度梯度的变化可使某些宝石晶体产生热电效应。如电气石晶体具有明显的热电效应，在受热或冷却时，沿电气石晶体两端产生数量相等、符号相反的电荷，同时具有静电吸尘现象。这可能是由于受到差异温度作用时，晶体产生膨胀或收缩、晶格中被热激发出电荷发生运移所致，如电气石。

二、静电效应

静电并不是静止不动的电，而是在空间缓慢移动的电荷，或说是一种相对稳定状态的电荷。其磁场效应比起电场的作用可以忽略不计。由于这种电荷和电场的存在而产生的一切现象称为静电现象。一般照明用电是由电磁感应原理产生的，而静电大部分是因接触、摩擦、分离而起电的。某些有机化合物，如琥珀、塑料等，当受到皮毛的反复摩擦时，各自产生数量相同、极性相反的电荷，可吸附起较轻的小纸片、羽毛和塑料薄膜等。

三、压电效应

当某些宝石材料受到外界压力时，两面会产生电荷，电荷量与压力成正比，这种现象称为压电效应。宝石材料在机械力作用下产生变形，会引起表面带电的现象，而且其表面电荷密度与应力成正比，这称为正压电效应。反之，在某些材料上施加电场，材料会产生机械变形，而且其应变与电场强度成正比，这称为逆压电效应。如果施加的是交变电场，材料将随着交变电场的频率作伸缩振动。施加的电场强度越强，振动的幅度越大。正压电效应和逆压电效应统称为压电效应。压电效应多属一种机械能与电能之间的能量转换现象。

净度较高的石英单晶受到压力作用时会产生电荷；相反，当受到电压作用时，又会产生频率很高的振动。压力不同，产生电荷的多少也不一样；反之，电压不同，振动频率也不同。天然单晶水晶和合成单晶水晶均具良好的压电性能，因而被广泛应用于无线电和遥控谐振器上。

四、导热性

物体能传导热量的性质叫导热性。这是因大量分子、原子、离子或自由电子相互撞击，使热量由温度较高一端传递到温度较低一端的缘故。往往导电性强的物质导热性也强，不导热的物体称为热绝缘体。

不同宝石传导热的性能差异甚大，所以导热性可作为宝石的鉴定特征之一。导热性能以热导率（λ）表示，单位为W/(m・K)。热导率须在特定实验环境用特定仪器测定。宝石学一般以相对热导率表示宝石的相对导热性能。相对热导率的确定常以银或尖晶石的热导率为基数。钻石的热导率比其他宝石高出数十倍至数千倍，如表1-6-1所示，以尖晶石的热导率为1时，钻石的相对热导率是56.9～170.8，金的相对热导率是44，银的相对热导率是31，而刚玉的相对热导率是2.96，其他多数非金属宝石的相对热导率多小于1。因此，使用热导仪能迅速鉴别钻石。

表 1-6-1　常见宝石和某些材料的相对热导率（以尖晶石热导率为基数 1）

宝石及材料	相对热导率	宝　石	相对热导率
钻　石	56.9～170.8	电气石	0.45
银	44	橄榄石	0.41
金	31	锆　石	0.39
刚　玉	2.96	绿柱石	0.34～0.47
黄　玉	1.59	铁铝榴石	0.28
尖晶石	1	镁铝榴石	0.27
赤铁矿	0.96	钙铁榴石	0.26
红柱石	0.64	坦桑石	0.18
金红石	0.63	翡　翠	0.4～0.56
石　英	0.5～0.94	钙铝榴石	0.48
玻　璃	0.08		

五、导电性

矿物对电流的传导能力称为导电性。矿物的导电性能很早便受到研究和重视。不同种类的宝石矿物，其导电性能不同。与金属矿物相比，许多非金属矿物的导电性微弱。宝石矿物中的赤铁矿、针铁矿和合成金红石是较好的导电体。钻石是电的不良导体，但IIb型浅蓝色钻石晶格中，微量的硼原子取代碳原子，使局部电位失衡，便产生了自由电子，从而造成该型钻石具有微弱的导电性能，属半导体。但受辐射作用而改色的淡蓝色钻石，其不良的导电性能并未改变，所以可用导电性能的差别来鉴别天然蓝色钻石和辐射致色的蓝色钻石。

矿物物理学家对矿物的热学、电学性质早有深入的研究，但其在宝石学中的应用仍相当局限。随着宝石测试技术的进步，应用热学、电学性质鉴别天然宝石、处理宝石（尤其是充填和镀膜处理过的宝石）、合成宝石和人造宝石等具广阔的前景。

第二篇 宝石鉴定仪器

第一章 常规宝石鉴定仪器

第一节 镊子和放大镜

一、宝石镊子

宝石镊子是一种具尖头的夹持宝石的工具，内侧常有凹槽或“#”纹以夹紧和固定宝石。宝石镊子可根据尖端的大小不同分为大、中、小号，中号和大号可适用于大颗粒宝石，小号则适用于颗粒小的宝石。镊子还可分为带锁和不带锁两种（见图2-1-1）。对于特殊种类的宝石，如珍珠，配有专门的珍珠镊子（见图2-1-2）。使用镊子时应用拇指和食指控制镊子的开合，用力须适当，过松夹不住，过紧会使宝石“蹦”出。在显微镜下操作时，可将手或镊子置于显微镜的工作台（载物台）上，使宝石稳定及减轻手部疲劳。

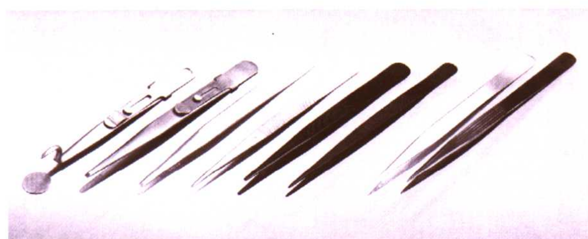


图2-1-1 宝石镊子常见类型

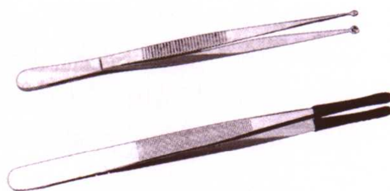


图2-1-2 珍珠专用镊子外观

弹簧宝石夹是另外一种类型的宝石镊子，可配备在多种宝石检测设备上，如宝石显微镜、台式分光镜等，使用起来方便简单（见图2-1-3）。

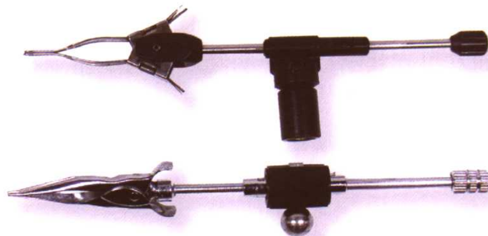


图2-1-3 显微镜宝石夹外观

二、放大镜

对于宝石鉴定来说，利用光学放大是至关重要的。在很多情况下，仔细观察宝石的外部和内部特征可提供大量的有意义的信息。放大镜是最常用、最简便的宝石鉴定工具，它的正确使用也是宝石工作者的基本技能（见图 2-1-4）。

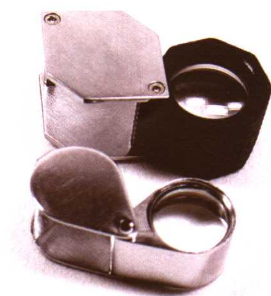


图 2-1-4 常用的 10 倍放大镜外观

能长时间清晰观看而不易感到疲劳的最短观察距离称为明视距离。正常眼睛的明视距离约为25cm。放大镜的放大倍数与明视距离和放大镜的焦距有关，即：

放大倍数＝清晰影像的最小距离（明视距离）/放大镜的焦距

放大镜的放大倍数经常用“×”来表示，如 10 倍（10×）。

（一）放大镜的结构

常见的放大镜有：

1) 双凸透镜　由单个的双凸透镜构成，价格便宜，放大倍数常小于 3 倍(即 3×)。

2) 双组合镜　由两个平凸透镜组成。

3) 三组合镜　由一对无铅玻璃做成的凸透镜和两个由铅玻璃制成的凹凸透镜粘合而成。

其中三组合镜最为常用，不仅视域较宽，而且消除了图像畸变（球面像差）和彩色边缘现象（色像差）。最常用的为 10× 放大镜。25×、30×、50× 的放大镜因其放大倍数大，观察视野小，焦距短而难于操作。

放大倍数越大的凸透镜，其视域边缘像差也就越明显。大于3倍的单透镜就有明显的像差。

判断宝石用三组合镜的质量，最好是观察方格纸。判别标准如下：

1) 视域中所有线条应平直，若线条弯曲或在视域边缘处线条宽窄不一，则质量不好。

2) 视域中线条应清晰、“干净”，若带有色边则质量不好。

3) 视域中所有线条应于同时保持准焦状态。

（二）应用

放大镜主要用于观察宝石表面特征及内部特征，且观察者的知识、经验越丰富，通过放大镜所获得的信息量越大。

1. 外部特征

包括宝石基本性质及加工质量的观察与判别。

宝石基本性质观察　通过放大镜可以确定宝石的光泽、刻面棱线的尖锐程度、表面平滑程度、原始晶面、解理、断口和拼合特征等。如宝石的冠部、亭部光泽不同，表明其可能为拼合宝石；刻面棱线尖锐，表面平滑者表明其硬度很大；表面具多组平直纹理，具阶梯状断面者表明其解理很发育；而具贝壳状断口者表明其可能为单晶宝石；具土状断口者，表明其可能为多晶质集合体宝石。

宝石加工质量观察　即宝石的切磨质量和抛光质量的观察。包括宝石的各部分比率及修饰度等。

2. 内部特征

包括色带、生长纹、后刻面棱线重影和包体等。如色带呈弧形，则可能是合成品；有后刻面棱线重影，必为双折射率较大的宝石。宝石的包体特征及其组合可以表征其成因(天然或合成)，甚至提供产地信息。

3. 综合评价

主要用于钻石的简易鉴定和净度分级、切工分级等。

（三）放大镜的使用方法

放大镜的熟练使用是建立在大量实践练习基础上的。鉴定宝石时，应一只手将放大镜尽可能地靠近眼睛，另一只手用镊子夹住宝石置于离放大镜约2.5cm处的光下。调整宝石与光源的角度，在反射光下可观察宝石的外部特征；光线由侧面或背面入射，有利于观察宝石的内部特征。使用放大镜时，要求双眼同时睁开，以避免眼睛疲劳。

（四）放大镜的保养

放大镜的透镜玻璃硬度不高，灰尘、宝石镊子及大多数宝石都可以划伤玻璃透镜。因此，我们在使用放大镜时，应避免透镜体与宝石或镊子接触，当透镜体表面有灰尘时，应用镜头纸轻轻擦拭。另外要随时检查固定透镜体的螺母，以防透镜松动互相摩擦。使用结束后，应将透镜体旋转至金属框架内，放入包装皮套中，防止损伤。

第二节　显微镜

显微镜是宝石鉴定工作中最重要的仪器之一，它可以帮助寻找鉴别天然与合成宝石、优化处理宝石的关键证据。

一、显微镜的结构

显微镜由以下几个主要部分组成（见图2-1-5）：

1) 光学系统（透镜系统）　包括目镜、物镜及变焦系统。

2) 照明系统　包括底光源、顶光源、电源开关和光量强度调节旋钮等。

3) 机械系统　包括支架、焦距调节旋钮、锁光圈、弹簧宝石夹等。

显微镜的放大倍数等于目镜放大倍数乘以物镜放大倍数，如目镜为10×，物镜为5×，则总放大倍数为50倍。通常显微镜可以更换目镜和物镜。常见目镜的放大倍数有10×、20×；物镜放大倍数有1×、1.5×、2×和3×。

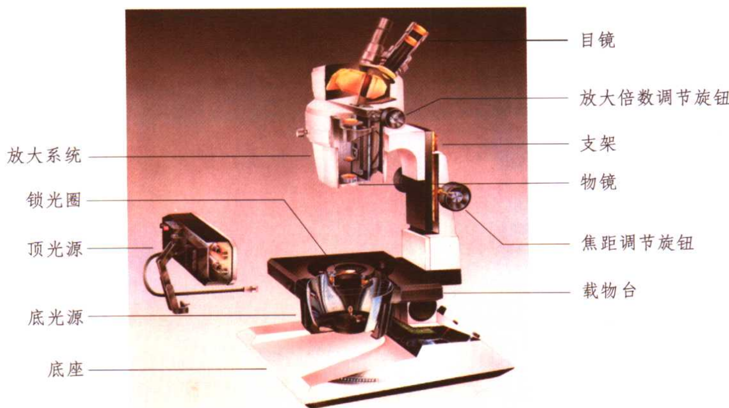


图2-1-5 宝石显微镜的结构

二、宝石显微镜的类型与照明方式

显微镜有许多种类型，如单筒显微镜、双筒显微镜、双筒变焦显微镜、双筒立体显微镜、双筒立体变焦显微镜等。目前宝石显微镜多采用立式双筒立体连续变焦显微镜（见图2-1-6），也有卧式双筒立体变焦显微镜。



图2-1-6 宝石显微镜外观

这些常用的宝石显微镜物镜工作距离较大，能观察足够大的宝石，不会因调焦不当而对宝石和显微镜有所损害。镜下物像呈现三维立体图像，并可连续放大，通常为10～60倍。

在显微镜载物台上加上油浸槽还可变为油浸显微镜。

立式显微镜的光源通常有底光源和顶光源两种，部分新型立式显微镜还配有光纤灯。通常宝石显微镜可有以下几种不同的照明方式：

1) 暗域照明法　来自底光源的光不直接射向宝石，而是经半球状反射器的反射后再射向宝石(见图2-1-7)。此时光线不直接进入物镜镜筒。当宝石内有裂隙和包体等缺陷导致光线的散射时，则有助于光线进入物镜，宝石的内部特征在暗色背景上显现十分清晰。这是一种最为常用的照明方法，而且有利于长时间观察。

2) 亮域照明法　撤掉挡光板后，来自底光源的光线直接射向宝石，穿过宝石后直接进入物镜(见图2-1-8)。这种照明方式有利于色带、生长纹和低突起包体的观察。

3) 顶部照明法　关掉底光源，打开顶光源，使光线经宝石表面反射后进入视域，这种照明方式适于观察宝石表面及近表面特征（见图2-1-9）。若显微镜本身无这种照明装置，一个手电筒、一个台灯都可提供这种照明。

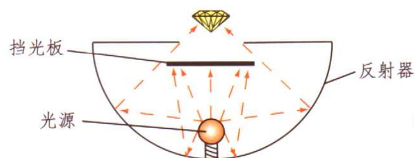


图2-1-7 暗域照明法示意图

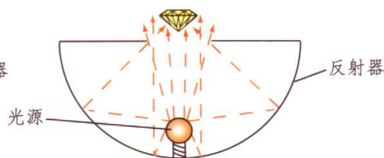


图2-1-8 明域照明法示意图

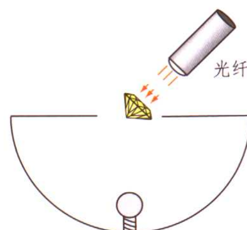


图2-1-9 垂直上方照明法示意图

立式显微镜除了上述三种常用的照明方式外，还有散射照明、点光照明、斜向照明、水平照明、偏光照明和遮掩照明等方式。

散射照明　直接从宝石的底部照明，在光源之上放置面巾纸或其他半透明材料，使光线更为柔和，有助于观察色域和色带，特别对于观察扩散处理的宝石效果更佳。

点光照明　通过锁光圈使底光缩小成点状直接从宝石的底部照明，使得色带和宝石结构更易于观察。

斜向照明　光从斜向直接照射到宝石（图2-1-10），可观察固液态包体、解理面等产生的薄膜效应。

水平照明　光从侧面水平方向照射宝石，从宝石上方进行观察（图2-1-11），使点状的包体和气泡呈明亮的影像而十分醒目。

偏光照明　在两块偏光片之间观察宝石（图2-1-12），能观察到宝石的光性特征、干涉图、多色性等。

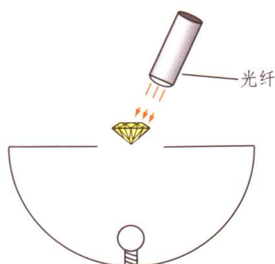


图 2-1-10 斜向反射照明法示意图

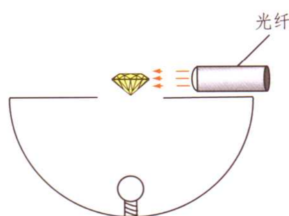


图 2-1-11 水平照明法示意图

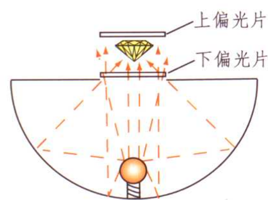


图 2-1-12 偏振光照明法示意图

遮掩照明　从样品的底部直接照明，在视域中插入一个不透明的挡光板，能增加包体的三度空间感，并且有助于观察生长结构。如弯曲生长纹、双晶纹。

卧式显微镜又称水平油浸显微镜，其设计非常适宜于观察宝石的内部特征。不仅有利于宝石在油浸槽中转动，而且可以通过光源的移动提供各种照明方式。

置于浸油中的宝石表面反射光和漫反射光减少，从而有利于宝石的内部包体、生长纹、色带等的观察和研究。此外，这种显微镜的光源可以在水平方向围绕宝石转动180°，不仅提供了亮域、暗域、顶部照明，而且还提供了水平照明和过渡型照明等，照明方式的改变迅速而简单。

三、显微镜的调节和使用

1. 显微镜的调节

许多人左右眼视力不一致，因此在使用显微镜前要对目镜进行调节，使双眼能同时准焦，减轻视觉疲劳。双目立体显微镜在设计时充分考虑到了这一因素，左侧(或右侧)目镜可以调焦，具体步骤如下：

1) 在一张白纸上点一黑点，放置于显微镜视域中央。

2) 将镜头调到最低处，打开显微镜照明灯。

3) 根据双眼宽度调节两目镜间距，直到视域出现一个完整的圆。

4) 转动焦距调节旋钮调节焦距。

5) 将物镜放大倍数调至最大，闭上左眼（或右眼）仅用右眼（或左眼）观察并再次调焦。

6) 固定焦距调节旋钮，闭上右眼（或左眼）转动左侧目镜，仅对左眼（或右眼）再次准焦。在此过程中不能调节焦距调节旋钮。

2. 显微镜的使用

显微镜调节好后，观察宝石时，通常应注意：

1) 清洗宝石，防止将宝石表面灰尘当作内部特征。

2) 首先在低倍放大条件下从各个方位观察宝石的内外部特征。在高倍放大条件下，虽然可以看清很多细微现象，但却有很大的局限性。如工作距离短，视域小，亮度不够。

3) 将所需观察的内外部特征调至视域中央，不断增加放大倍数，仔细观察。此时要注意区分哪些是灰尘或油污，哪些是内部包体。

4) 为了减少表面反射或漫反射，有时可采用油浸法帮助观察。在浸油槽内装上二碘甲烷或水等液体，放入宝石使之全部浸没。在浸油槽下方放置一白色或蓝色半透明塑料板(也可用面巾纸代替)。

5) 在观察后刻面棱线重影时：①观察宝石远离物镜一侧的棱线、包体、划痕等。在观察

时注意视线应穿过同一刻面，防止因刻面棱的影响产生虚假重影；②不断转动宝石，至少应从三个方向对其进行观察，以免观察方向平行于光轴；③要确定是否是真正的重影，可以在目镜上加偏光片，转动偏光片，真正的因双折射造成的重影会随着偏光片的转动而轮流出现，好像在前后跳动。

四、宝石显微镜的用途

宝石显微镜的最主要用途是放大观察宝石的内外部特征。若再加上一些附件，如偏光片、油浸槽、照相机、测微器等，则可扩展其应用范围。

1. 观察宝石的各种内外部特征

在观察宝石时，主要观察下列特征：

(1)外部特征

表面是否损伤，如擦痕、刮痕、凹坑等；刻面的工艺质量，是否对称、同种刻面大小是否相等、刻面棱是否对齐等；刻面抛光质量；拼合石的拼合缝及两侧的光泽差异；解理或断口的特征等。

(2)内部特征

包括气、液、固相包体，愈合裂隙、生长纹、色带的分布及其特征，拼合宝石结合面特征以及后刻面棱线重影等。

2. 测定近似折射率

在显微镜镜体上装上能精确测量镜筒移动距离的标尺，就可以测定近似折射率。

宝石对光线具有折射作用，而人眼却根据经验判断光线为直线传播，此时所看到的不是宝石的实际厚度，而是显微镜下的视厚度（见图2-1-13）。

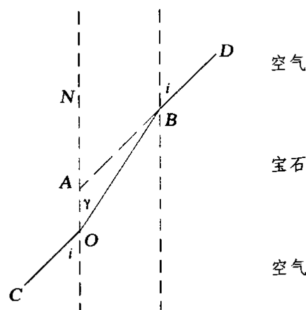


图2-1-13 视厚度成因示意图

图中，CO为入射光线，OB为折射光线，BD为射出光线，AB为BD延长线。图中ON和OB为下底面上O点发出的两条光线，其中ON垂直于表面，与经折射后射出光线的延长线汇聚于A点，因此A为O点的像，所以NA为宝石的视厚度。根据几何学可推导出$\angle NAB = \angle i$。

根据折射定律　$n=\dfrac{\sin i}{\sin \gamma}$

根据成像原理的傍轴条件，NB很小，此时i和γ都很小，有$\sin i \approx \tan i$，$\sin\gamma \approx \tan\gamma$

则 $n=\dfrac{\sin i}{\sin \gamma} \approx \dfrac{\tan i}{\tan \gamma}=\dfrac{NB/NA}{NB/NO}=\dfrac{NO}{NA}$

即：近似折射率值(n)= 实际厚度／视厚度

在利用显微镜对其进行测试时，将宝石台面向上用蜡或橡皮泥固定在载玻片上（宝石底尖要与载玻片接触），尽量使宝石台面与载玻片平行。准焦于宝石台面，记录读数1；再准焦于宝石底尖，记录读数2，两读数差值即为视厚度。轻移载玻片，将宝石移出视域，准焦于载玻片，记录读数3，读数3与读数1的差值为实际厚度。根据公式计算即可得出近似折射率。

这种方法测试折射率的精度与放大倍数有关，倍数越大，精度越高；另外与宝石的折射

率有关，折射率越接近于1，测试的精度越高。

3. 显微照相

在显微镜上配上照相机，即可进行宝石显微特征的拍摄。目前所有宝石的包体照片都是这样获得的。

4. 观察多色性和干涉图

若在宝石下方放置一偏光片，可以观察到宝石的多色性。转动宝石时每次只能观察到一种颜色，且由于人眼对颜色的记忆力较差，因此快速转动宝石进行对比观察效果较好。观察宝石的干涉图需要较高的技能，当宝石显微镜配上正交的上下偏光片后，即变成了一个偏光显微镜，此时加上勃氏镜(或干涉球)后，就可以观察宝石的干涉图。

五、显微镜的保养

宝石显微镜是十分精密的光学仪器，使用时要注意以下事项：

1）不可对显微镜的机械部位用力过猛。

2）显微镜要注意防尘、防震，不用时应置于箱中或套上镜罩。

3）不能用手触摸任何镜头，若需清洁镜头，则用镜头纸或特制镜头布擦拭。

4）不用时应将显微镜灯光亮度调至最低关掉显微镜灯。打开显微镜光源时应保证显微镜灯光亮度调节旋钮处于最低档；更换显微镜灯泡时，不可直接用手接触灯泡，以延长照明灯泡的使用寿命。

5）使用完毕，将物镜调至最低点，以延长调焦旋钮的使用寿命。

第三节　折射仪

宝石的化学成分和晶体结构决定了宝石的折射率，折射率是宝石最稳定的性质之一。利用折射仪可以测定宝石的折射率值、双折射率值、光性特征等性质，为宝石的鉴定提供关键性证据。

一、制作原理

当光线从光密介质倾斜射入光疏介质时，折射光线远离法线，即相对靠近两介质分界线。当入射角增大到一定程度时，折射光线与法线的夹角为90°，此时的入射角称为临界角；当光线入射角大于临界角时，入射光不发生折射，全部返回到光密介质中，这种现象称为全（内）反射（见图2-1-14）。宝石折射仪就是根据折射定律和全反射原理制造的。

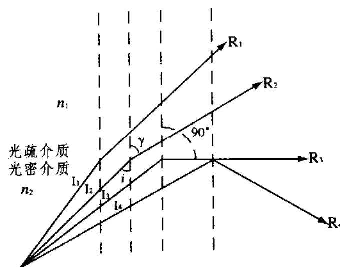


图2-1-14　折射、全(内)反射原理图

一种介质相对于空气(严格地说应为真空)的折射率为一定值，那么，一种介质相对于另一已知介质的折射率也为一定值。根据公式可以推导出：

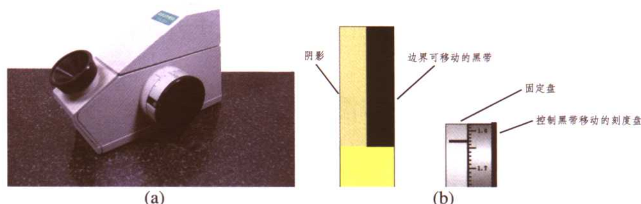
$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin \gamma}$$

式中：i为入射角；γ为折射角；n_1为已知介质的折射率；n_2为未知介质的折射率。当

$\gamma = 90°$时，$n_2 = n_1 \cdot \sin i$。因此，只需测出 i 角即可求出未知介质折射率值。



图 2-1-15 内标尺折射仪外观



(a)　(b)

图 2-1-16 外标尺折射仪
(a)外标尺折射仪外观；(b)外标尺折射仪读数示意图

二、结构及工作原理

宝石折射仪是用于测试宝石折射率的一种常规仪器，其设计目的是能无损、快速、准确地测出待测宝石的折射率值。宝石折射仪的类型有内标尺读数和外标尺读数两种。常用的为内标尺折射仪(见图 2-1-15)，折射率数值通过目镜内的标尺读出。外标尺折射仪是一种经改进的折射仪，取消了内标尺，取而代之的是一种刻有折射率值的外度盘。由于外度盘可旋转，它操纵一条视域内的黑带，使黑带的下边界与宝石折射产生的阴影边界重合，外度盘上的标尺就提供了折射率读数（见图 2-1-16）。宝石折射仪主要由高折射率棱镜、棱镜反射镜、透镜和标尺及偏光片等组成（见图 2-1-17）。其主要组成部分特点如下。

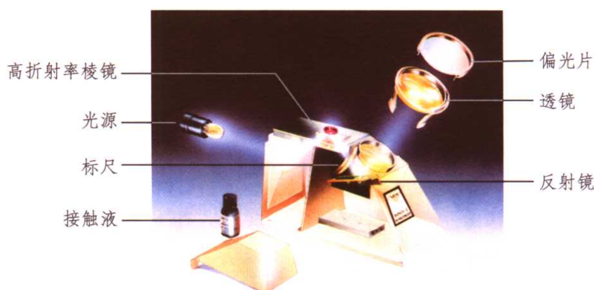


图 2-1-17 折射仪的结构

1. 高折射率棱镜

这种棱镜材料要求满足两个条件：单折射和高折射率。大多数棱镜采用铅玻璃(折射率常为1.86～1.96)，但铅玻璃棱镜非常软，容易受损。有的折射仪采用尖晶石作为棱镜，其优点是色散低，硬度大，但缺点是测试范围很小，只能测小于1.71的宝石的折射率。此外还有钻石、合成立方氧化锆、闪锌矿等作为棱镜的折射仪。合成立方氧化锆是一种理想的棱镜材料，其折射率为2.16，硬度为8.5，不易磨损和腐蚀，但若采用常规接触液，其读数的清晰程度较差。

2. 接触液

虽然不是折射仪的部件但却是折射仪使用过程中必不可少的辅件，它的作用是使待测宝石与高折射率棱镜产生良好的光学接触。当抛光宝石直接放在干净的折射仪棱镜上时，有一薄层空气膜会阻止其形成良好的光学接触，因此要使读数清晰，须有合适的接触液。接触液可配制，在折射率为1.742的二碘甲烷中饱和溶解硫，当折射率升到1.78时，再加入18%的四碘乙烯，折射率可升至1.81。这种接触液可以满足绝大部分宝石品种的测试，并且在正常情况下使用是安全的。折射率大于1.81的接触液都有极强的腐蚀性和剧毒，对测试者和棱镜都十分不利。

3. 光源

常用的光源有两种，一种为折射仪外部光源，另一种为折射仪内部光源。外部光源经由折射仪入射窗口进入折射仪，内部光源位于折射仪内部。由于宝石具有色散，其折射率都是在入射光波长为589.5nm条件下测试的结果，因此最为理想的入射光应为波长589.5nm的黄

光。产生最理想黄光的光源是钠光灯。若入射光为白光，由于宝石的色散，阴影边界为彩色谱带，读数时看准黄绿交界部位即可。用白光作光源，在测试单折射率宝石时尚可，但在测试具双折射的宝石时，两彩色阴影互相叠加，不易读数。棱镜和宝石的色散差别越大，则阴影边界彩色性越强。

4. 待测宝石

待测宝石必须有抛光的平面或弧面。

5. 工作原理

宝石为光疏介质，棱镜和接触液为光密介质。当入射角小于临界角时，光线折射进入宝石；当入射角大于临界角时，光线发生全反射，返回棱镜并通过折射仪标尺，再经反光镜反射，使之通过目镜，形成亮区。折射入宝石的光线不能被人眼所观察到，形成暗区。亮暗交界的阴影边界即标志着光线刚好以临界角入射。折射仪中的内标尺都是经过校正的，可以直接读出折射率值(见图 2-1-18)。

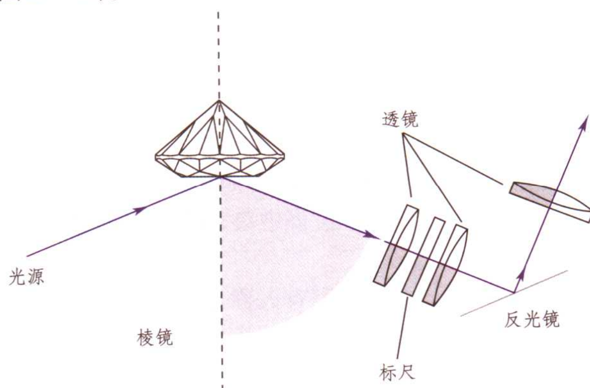


图 2-1-18　折射仪工作原理

三、使用方法和测试步骤

使用折射仪可以对具抛光刻面或弧面的宝石的折射率进行测试，测试范围因所用折射仪棱镜和接触液而异，通常情况下是 1.35～1.81。

在使用折射仪进行测试的过程中要注意两个问题，首先是高折射率玻璃棱镜硬度较小，若使用不当，几乎所有的宝石材料都能在棱镜上留下划痕。其次是接触液要适量，由于接触液密度很大，若点得过多，密度较小的宝石会漂浮；若点得过少，则不能使宝石与棱镜产生良好的光学接触。

1. 近视法（也称刻面法）

当宝石为刻面型时，采用下列方法和步骤进行测试，称之为近视法或刻面法。

1）用酒精清洗宝石和棱镜。

2）打开光源，观察视域的清晰程度。

3）选择宝石最大刻面，放置于金属台上。

4）在棱镜中央轻轻点一小滴接触液，通常以液滴直径约 2mm 为宜。

5）轻推宝石至棱镜中央，使宝石通过接触液与棱镜产生良好的光学接触。

6）眼睛靠近目镜观察视域内标尺的明暗情况，读数。

7）用手指轻轻转动宝石 360°，每转一定角度进行一次观察，读数并记录。所转动角

度依据观察者的经验和宝石的情况而定。初学者应每转动 15° 读一次数，这样虽准确但所需时间较长；经验丰富者可转动30° ~90° 不等进行观察和读数（见图 2-1-19）。

8）测试完毕，将宝石轻推至金属台上，取下。

9）清洗宝石和棱镜。清洗棱镜时要注意将沾有酒精的棉球或镜头纸沿着一个方向擦洗，以防接触液中析出的硫划伤棱镜。

上述测试方法和步骤可以准确地测出刻面宝石的折射率值和双折率，甚至轴性和光性。

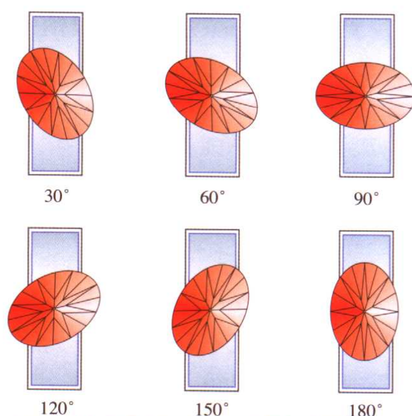


图 2-1-19 测量宝石折射率和双折射率的方法

2. 远视法（也称点测法）

为了扩大折射仪的使用范围，对小刻面宝石或弧面型宝石的折射率，可采用远视法即点测法进行近似测试，方法如下：

1）清洗棱镜和宝石，摘下偏光片。

2）在金属台上点一滴接触液。

3）手持宝石，用弧面或小刻面接触金属台上的液滴，以保证宝石上的接触液滴直径约为 0.2mm。若宝石上的液滴较大，则不易得到清晰而准确的读数。

4）将带有合适液滴的宝石轻轻放置于棱镜中央，使宝石通过液滴与棱镜形成良好的光学接触。

5）眼睛距目镜 30～45cm，平行目镜前后(有人称之为上、下)移动头部,用下列两种点测法来读取宝石的折射率。

50/50 法。观察液滴呈半明半暗时明暗交界处的读数并记录(见图 2-1-20)。所测数值为最精确的点测法读数，通常可用于表面抛光良好的宝石。读数可精确到小数点后第二位。

均值法。观察液滴的亮度在标尺的某一区间逐渐变化。取最后一个全暗影像与第一个全亮影像的读数的平均值为所测折射率。通常用于抛光不好或稍有凹凸不平的测试表面或接触油过多的情况。所测数值为精确度最差的点测法读数。读数到小数点后第二位（见图 2-1-21）。

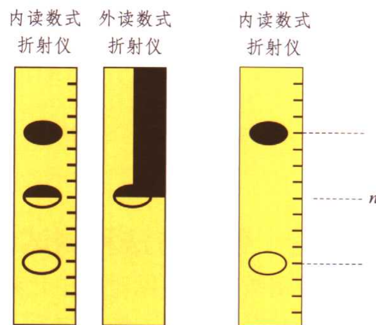


图 2-1-20 50/50 法的读数方法示意图　图 2-1-21 均值法读数示意图

3. 闪烁法

对于具有高双折射率且抛光不良或一些弧面宝石，常用闪烁法来估测宝石的双折射率。其方法如下：

1）清洗棱镜和宝石。

2）取下折射仪的偏光片和放大镜。

3）按点测法放置宝石，观察其在折射仪上的液滴影像。

将偏光片在目镜上方来回 90° 转动（但勿将偏光片直接放在镜片上），同时按点测法的观察方法上下移动视线，注意液滴影像明暗或颜色的变化。双折射率大的宝石，如菱锰矿、孔雀石等，在此观察过程中，液滴影像会由亮变暗，或由浅绿变成浅红、粉红闪动。

如液滴影像无闪动，转动宝石 90°，再度观察。若仍无闪动，可推断宝石无高双折射率。

如液滴影像闪动，则记录液滴影像在标尺上部开始闪烁的位置和标尺下部停止闪烁的位置的两个数值，两者之差，即为双折射率的估计值（见图 2-1-22）（注意：此差值并非宝石的双折射率的准确数值）。

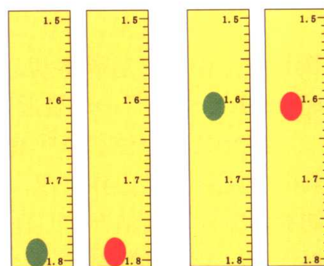
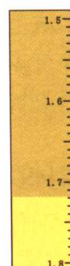


图 2-1-22　闪烁法估测菱锰矿（点测）的双折射率

四、观察现象及结论

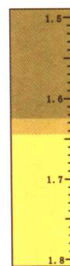
1）转动宝石 360°，视域内出现一条阴影边界　若快速转动配置在目镜上的偏光片，阴影边界无上下跳动的现象，表明此宝石为均质体宝石（包括等轴晶系宝石和非晶质体宝石）或多晶质集合体宝石（见图2-1-23）。有的多晶质集合体也会出现模糊的双阴影边界（如葡萄石），这是由于晶体定向排列造成的。

2）一轴晶宝石的折射率　转动宝石 360°，视域内出现两条阴影边界，其中一条在宝石转动过程中保持读数不变，另一条阴影边界上下跳动，这种情况说明宝石为一轴晶（三方、六方或四方晶系宝石）。不动的阴影边界读数为常光的折射率值 n_o，而随着宝石的转动，跳动的阴影边界为非常光折射率值 n_e'（n_e）。若不变的阴影边界读数较小，则此宝石为一轴晶正光性，即 n_e'（n_e）$>n_o$；若不变的阴影边界读数较大，则此宝石为一轴晶负光性，即 n_e'（n_e）$<n_o$；两个阴影边界距离最大时，即是常光和非常光的折射率差值最大，此差值即为双折率（见图 2-1-24）。双折率是鉴定宝石的一个重要参数，要求精确到 0.001。



尖晶石

图 2-1-23　均质体宝石折射率的测试



电气石

图 2-1-24　一轴晶宝石的折射率的测定

3）二轴晶宝石的折射率　转动宝石 360°，出现两条阴影边界，两条阴影边界随着宝石的转动而上、下移动，这种情况说明宝石为二轴晶（三斜、单斜或斜方晶系宝石）。转动宝石过程中，若大折射率阴影边界上下移动幅度比小折射率边界上下移动幅度大，则说明 $n_g-n_m>n_m-n_p$，宝石为二轴晶正光性（+）（见图 2-1-25(a)），反之，则说明 $n_g-n_m<n_m-n_p$，宝石为二轴晶负光性（−）（见图 2-1-25(b)）。二轴晶宝石在转动过程中可出现两条阴影边界逐渐靠近直至重合的特殊现象，重合位置的读数即为该宝石的 n_m 值。

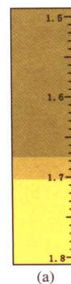




图 2-1-25　非均质体宝石二轴晶宝石的折射率的测定

(a)二轴晶正光性；(b)二轴晶负光性

4）高折射率宝石（折射率值大于接触液）的折射率　转动宝石 360°，整个视域较暗，仅能观察到折射油所形成的位于 1.81 ± 的影像边界，这种现象表明宝石的折射率值大于接触液的折射率值，即通常大于 1.81，用“折射率 > 1.81”表示。如翠榴石、锆石等（见图 2-1-26）。



图 2-1-26　折射率值大于接触液的宝石在折射仪上的现象

5）几种特殊现象　假均质体现象。转动宝石 360°，好像只有一条阴影边界，但快速转动偏光片，阴影边界上下跳动。这种现象表示待测宝石是非均质体，其双折率很小，两条阴影边界距离很小，肉眼难于分辨。如磷灰石、符山石，其双折射率分别为 0.002～0.008、0.001～0.012。

假一轴晶现象。有些二轴晶宝石的n_g与n_m或n_m与n_p差值很小，当转动宝石360°时，好像其中一条阴影边界不动，如金绿宝石(n_m接近n_p)、黄玉(n_m接近n_p，n_m=1.609，n_g=1.616，n_p=1.606)、柱晶石(n_m接近n_g)。

特殊光性方位。当一轴晶宝石的非常光的振动方向（光轴方向）平行折射仪棱镜长轴方向时，两条阴影边界重合，但随着宝石的转动，这种现象随即消失；当一轴晶宝石的非常光的振动方向（光轴方向）垂直于折射仪棱镜平面时，两条阴影边界保持不变，在任何位置上都显示出最大双折射率。若二轴晶宝石(特别是斜方晶系宝石)的测试刻面与某个振动方向垂直时，则必有一条阴影不动，与一轴晶宝石的现象一致，但只要换一个测试刻面这种现象立即消失。必须指出：当一轴晶宝石取向正确时，在一个刻面上可同时获得宝石的最高与最低的折射率值；对于二轴晶宝石来说，两个阴影边界各自移动，在一个刻面上不能同时获得宝石的最高与最低的折射率值。

某些具有特别双折射率的宝石，其中一个折射率值位于折射仪测试范围之内，而另一个折射率值却超出了测试范围，如菱锰矿，其n_o=1.84，n_e=1.58，$n_o > 1.81$。当转动宝石时，虽然只有一条阴影边界可见，但却是随着宝石转动在不停地移动，极易迷惑初学者。此时可用闪烁法来估测宝石的双折射率。

五、使用折射仪的注意事项

1）使用折射仪之前，要对其进行检查和校准。

2）测试前擦拭棱镜，使之清洁。

3）测试时要保护折射仪棱镜，避免宝石或镊子划伤而影响棱镜使用寿命。

4）测试结束后，及时擦拭棱镜残存的接触液，避免接触液腐蚀棱镜。

5）与偏光镜、二色镜配合使用，能得出更加准确的结论。

6）由于类质同象的影响，同种宝石的折射率可能会在一定范围内变化。

7）要获得准确的双折射率值，需多测量几个刻面。

8）对于尖晶石和祖母绿来说，从折射仪获得的数据，可以帮助区分出是天然或合成宝石。

9）折射率读数的精确度和可靠性取决于样品的抛光质量、接触液的多少、样品是否干净、折射仪的校准、所用光源的类型等多方面因素。

第四节　紫外灯

紫外灯是一种重要的辅助性鉴定仪器，主要用来观察宝石的发光性(荧光)(见图2-1-27)。虽然荧光反应很少能作为判定宝石种属的决定性证据，但在某些方面可以快速地区分宝石品种。如：鉴别钻石与其仿制品、红宝石与石榴石等。

紫外线是波长在10～400nm之间的电磁波，位于可见光和X射线之间，波长较可见光短，不能为人眼所观察到。实际应用的大多数是200～400nm之间的紫外线。为方便起见又把这一部分紫外线划分成三部分：短波，200～280nm；中波，280～315nm；长波，315～400nm。

其中长波和短波常被用于宝石鉴定。



图2-1-27 荧光灯外观

一、原理

紫外灯灯管能辐射出一定波长范围的紫外光波，经过特制的滤光片后，仅射出主要波长为365nm的长波或253.7nm的短波的紫外光。

根据宝石在长波紫外光和短波紫外光下的荧光特性可以帮助鉴定宝石。

二、使用

目前市场上有各种各样的紫外灯，但不管哪种类型，都是由紫外光源、暗箱和观察窗口三部分组成。有的还带有眼睛防护镜，以防止紫外线对眼睛的损伤。

将待测宝石置于紫外灯下，打开光源，选择长波(LW)或短波(SW)，观察宝石的发光性。观察时除了注意荧光的强弱外，还需注意荧光的颜色和荧光的发出部位。荧光的强弱常分为无、弱、中、强四个等级。有时由于宝石刻面对紫外光的反射，会造成宝石发出紫色荧光假象，此时只需将宝石放置方位稍加改变即可。此外，荧光是宝石整体发出的光，而刻面反光并非如此，光强不均匀，并且显得呆板。宝石在长波下的荧光强度通常大于短波下的荧光强度。

三、用途

1. 紫外灯可以帮助鉴定宝石品种

某些宝石种在颜色外观上较为接近，如红宝石与石榴石、某些祖母绿与绿玻璃、蓝宝石与蓝锥矿，但它们之间荧光特性有明显差异，因此可借助荧光检测将它们区分开。常见宝石的荧光特征见表2-1-1。

表2-1-1 常见宝石的荧光性

宝 石	LW紫外线荧光色	SW紫外线荧光色	X射线荧光色
钻石	橙、黄、蓝、紫、绿	橙、黄、蓝、绿、紫	白、黄、绿、蓝
红宝石	红	红	红
斯里兰卡蓝宝石	红、橙	红、橙	红、橙
斯里兰卡黄色蓝宝石	橙	橙	橙
合成橙色蓝宝石	红、橙	红、橙	红
合成绿色蓝宝石	红、橙	橙	
无色蓝宝石	橙	橙	红
红尖晶石	红、橙	橙	红、橙
合成刚玉仿变石	红	红	红
祖母绿	红、绿	红	红
黄玉	橙、黄		橙
变石	红	红	
磷灰石	黄、绿、紫		
锆石	黄	黄	黄、紫、蓝
赛黄晶	蓝	蓝	紫
萤石	蓝、紫	蓝、紫	紫
月光石	蓝		蓝
方柱石	橙、紫	橙、紫、蓝	橙
透辉石	紫		
紫锂辉石	橙		
方钠石	橙色斑点		黄、蓝
青金石	橙色斑点	橙、紫	黄、蓝
彩色玻璃	黄、绿、蓝	黄、绿、蓝	蓝（某些）

2. 帮助判别某些天然宝石和合成宝石

天然红宝石由于或多或少含一些Fe，在紫外灯下荧光颜色不如合成品鲜艳明亮；天然祖母绿的荧光颜色，也常不如合成品鲜艳；焰熔法合成黄色蓝宝石在长波下呈惰性或发出红色荧光，而某些天然黄色蓝宝石却呈黄色荧光；焰熔法合成蓝色蓝宝石呈浅蓝白或绿色荧光，而绝大多数天然蓝色蓝宝石却呈惰性。

3. 帮助鉴定钻石及其仿制品

钻石的荧光强度变化非常大，可以从无到强，也可呈现各种各样的颜色。有强蓝色荧光的钻石通常具有黄色磷光。常见仿制品如合成立方氧化锆在长波紫外线下呈惰性或发浅黄色荧光，人造钇铝榴石呈现黄色荧光，人造钆镓榴石则常呈粉红色。在短波下合成无色尖晶石发出蓝—白色荧光，无色合成刚玉呈弱蓝色荧光。因此，紫外灯对于鉴定群镶钻石十分有用，因为若都为钻石，其荧光发光强度和颜色不会均匀，而合成立方氧化锆、人造钇铝榴石等，其荧光强度则较为一致。

4. 帮助判断宝石是否经过人工优化处理

某些拼合石的胶层会发出荧光，某些注油的宝石和玻璃填充宝石其充填物可能会发出荧光，某些B货翡翠也会发出荧光。硝酸银处理黑珍珠无荧光，而某些天然黑珍珠却可发出荧光。

5. 帮助判别某些宝石的产地

如斯里兰卡产的黄色蓝宝石在紫外光下发黄色荧光，而澳大利亚产的则无荧光。

四、注意事项

1）短波紫外线会对眼睛和皮肤造成伤害，严重者可导致失明，应避免直视荧光灯灯管。同时也不要将手放在短波紫外线下，最好用镊子代替手，防止灼伤。

2）宝石的荧光反应仅作为一种辅助性的鉴定证据。

3）在判断宝石的荧光时应考虑样品的透明度，透明样品与不透明样品的荧光有所不同。

4）同类宝石不同样品的荧光可能存在明显的差异。

5）宝石的荧光颜色可能与宝石本身的颜色不同。

6）黑色背景有利于宝石荧光的观察。

第五节　偏光镜

偏光镜是一种结构简单、操作方便的宝石鉴定仪器（见图2-1-28），主要用于检测宝石的光性，还可用于判断宝石的轴性、光性符号及检查宝石的多色性。



图2-1-28 偏光镜外观

一、结构及原理

偏光镜主要是由上、下偏光片和光源组成（见图2-1-29）。此外还可配有玻璃载物台、干涉球和凸透镜。光源一般采用普通的白炽灯有时在光源箱前侧开有一个狭窄的窗口，也可为折射仪提供光源。偏光镜在设计时通常是下偏光片固定，上偏光片可以转动，从而可以调整上偏光的方向。为了保护下偏光片，其上有一

可旋转的玻璃载物台。干涉球和凸透镜可用来观察宝石的干涉图。

当自然光通过下偏光片时，即产生平面偏光，若上偏光与下偏光方向平行，来自下偏光片的偏振光全部通过，则视域亮度最大；若上偏光与下偏光方向垂直，来自下偏光片的偏振光全部被阻挡，此时视域最暗，即产生了所谓的消光（见图2-1-30）。

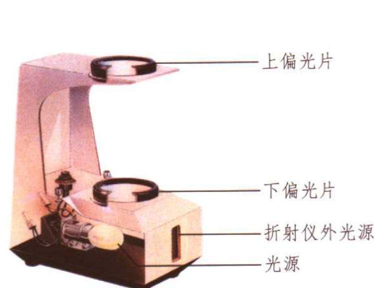


图2-1-29 偏光镜的结构

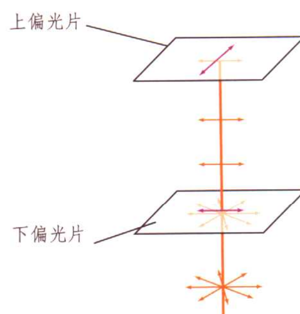


图2-1-30 偏光镜正交位置示意图

二、偏光镜的使用方法

1）清洁宝石，观察宝石是否透明。

2）打开偏光镜电源开关，旋转上偏光片直至消光位置。

3）将宝石放在下偏光片上方的玻璃载物台上，用手或镊子在水平方向上转动宝石360°（有载物台时可直接转动载物台），观察宝石的明暗变化。

三、偏光镜的应用及现象解释

偏光镜对鉴别均质体、非均质体和多晶质体具有重要的作用。

1. 均质体

若待测宝石为均质体，当自然光经过下偏光片透过宝石时，光的振动方向不发生任何变化，其仍为偏振光。通过上偏光片后，光全部被阻挡不能通过。因此任意转动宝石，宝石在视域中呈全暗(消光)(图2-1-31)。

2. 非均质体

晶体中除等轴晶系宝石外，都为非均质宝石。当待测宝石为非均质体时，在正交偏光镜下，转动宝石360°，宝石会出现四明四暗现象。这是因为非均质体具有将光分解成振动方向相互垂直的两束偏光的性质（光轴方向除外）。当通过下偏光片的平面偏光进入待测宝石时，若下偏光振动方向与宝石的光率体两个椭圆半径之一平行时，下偏振光透过宝石，振动方向不发生变化，仍与上偏光片振动方向垂直，从而被阻挡，视域全暗（见图2-1-32(a)）；若下偏光振动方向与宝石的光率体两个椭圆半径斜交时，下偏振光被宝石分解成振动方向相互垂直的两束偏光。有一部分光线可透过上偏光片，视域逐渐变亮，当若下偏光振动方向与宝石的光率体两个椭圆半径斜交呈45°时，视域最亮（见图2-1-32(b)）。于是随着宝石的转动，出现了明暗交替现象。这种明暗交替现象在宝石转动一周的过程中出现四次。但是必须指出的是：如果非均质体的光轴方向平行于观察方向，则在正交偏光镜下转动宝石360°，宝石并不出现四明四暗现象，而是全暗。

3. 多晶质宝石

多晶非均质集合体宝石在正交偏光镜下，转动360°，宝石在视域中都是明亮的。这是因

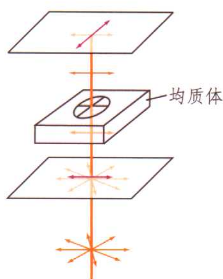


图 2-1-31 均质体宝石在偏光镜下的特征

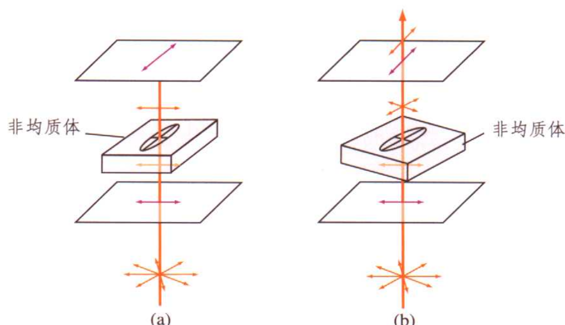


图 2-1-32 非均质体宝石在偏光镜下的特征
(a)全暗；(b)全亮

为多晶集合体中大量的晶体杂乱无章地排列，于是不同晶体将光分解后，所产生的偏振光振动方向也杂乱无章，各个振动方向都有，总体效果近似自然光。聚片双晶发育的宝石情况与此类似。

多晶均质集合体宝石在正交偏光镜下，转动360°，宝石在视域中全暗。

4. 特殊现象

（1）异常消光

许多均质体宝石在正交偏光下并不出现全暗现象，而是随着宝石的转动，宝石在视域内出现不规则明暗变化，这种现象称之为异常消光，这是由于在均质体宝石中出现异常双折射所造成的。不同的宝石，其异常双折射成因有所不同。玻璃在生产过程中，由于快速冷却，致使内部应力聚集，形成异常双折射，造成常见的“蛇形带状”异常消光现象；焰熔法合成尖晶石由于生产过程中加入了过量的铝，使晶格有一定程度的扭曲，形成异常双折射，从而在正交偏光下出现栅格状或斑纹状异常消光；石榴石则是由于类质同象替换，致使晶格产生了某些不均匀性，从而出现异常消光，甚至出现类似四明四暗的消光现象。

异常消光现象总的来说还是好判断的。因为非均质宝石在正交偏光镜下转动时，每转90°会重复以前的明暗变化，有极明显的规律性，而异常消光现象通常无这种规律性。

在鉴定过程中偏光镜常与折射仪、二色镜相互补充使用。折射仪可判断易混淆的异常消光现象，如石榴石有时在偏光镜下呈现假四明四暗现象，而在折射仪测试过程中永远只会出现一条阴影边界，并且无多色性。反之，偏光镜可帮助判断双折率很小的宝石的光性，如磷灰石的双折率只有0.003，在折射仪上很难见到双阴影边界(特别是非单色光作为光源时)，然而若置于偏光镜下，很容易就可断定出为非均质宝石。

判断是否为异常消光，可以通过折射仪、二色镜对其光性进行验证，也可以在偏光镜下进行验证。首先将宝石在正交偏光镜下转动至最亮处，然后固定宝石，转动上偏光片90°使其振动方向与下偏光片振动方向平行，若宝石亮度不变或稍暗，则为非均质宝石；若宝石变亮，则为均质宝石。使用此法时要注意，有些红、橙、紫红色石榴石具有极明显的异常双折射，有时仍会表现出非均质体的性质，最好的验证方法是使用二色镜和折射仪观察。

（2）全暗假象

要正确判断宝石的光性，首要条件是必须保证有足够的光线穿过宝石。有些高折射率宝石如钻石、锆石、合成立方氧化锆等，若切工良好，台面向下放置时几乎没有光线能够穿过，那么无论宝石为均质体或非均质体，均会呈现全暗的假象。

要排除这种并非由宝石本身的光性所造成的全暗假象，可以变换宝石放置方位，如将亭部刻面直接放在载物台上再次进行观察即可。此时，还可将宝石放入与其折射率相近的浸液

中，以减少因散射光所造成的影响，增加透过高折射率宝石的光量。

（3）其他假象

某些透明单晶宝石有较多且较明显的裂隙或含有大量包体，这些裂隙和包体都会影响光在宝石中的传播，从而难以准确判断其光学性质。此外，周围其他光线在宝石上若发生反射，造成反射光偏振化，也会影响判断的正确性。

四、偏光镜的局限性

偏光镜在使用中有一定局限性。

1）偏光镜不适用于不透明的宝石的测试。待测宝石必须是透明或半透明，至少部分透明或半透明。如某些透光性不好的弧面型宝石，由于边部较薄，可呈半透明，仍可进行测试。

2）若待测宝石透明，但含有大量的裂隙和包体，则测试的可靠性较差。

五、干涉图及其观察

1. 现象

双折射宝石在上下偏光和锥形偏光共同作用下，由消光与干涉效应综合作用而产生的特殊图案，称为干涉图。其在偏光镜下所呈现的是由各色条带组成的图案。在偏光镜的上下偏光片之间加上一无应变干涉球或凸透镜即可将通过下偏光片的平面偏光变成锥形偏光。

白光在非均质体宝石中产生双折射，分解成两条振动方向互相垂直的偏振光，宝石相对于二者的折射率不一样，造成一定的光程差。锥光的作用是增加光在宝石中传播的光程，产生不同大小的光程差。在透过宝石之后会产生干涉，使白光中一部分波长的光加强，而另一部分的光减弱，这些经过干涉后的光，会产生各种颜色，称之为干涉色。干涉色的产生取决于宝石的双折射率和光程。 根据干涉图的形状可判断宝石的轴性。

一轴晶干涉图：一轴晶干涉图为一个黑十字加上围绕十字的多圈干涉色色圈，黑十字由两个相互垂直的黑带组成，两黑带中心部分往往较窄，边缘部分较宽（见图2-1-33）。干涉色色圈以黑十字交点为中心，呈同心环状，色圈越往外越密，转动宝石，图形不变。水晶由于内部结构使偏振光发生规律旋转（即旋光性），干涉图呈中空黑十字，称为“牛眼干涉图”（见图2-1-34）。某些水晶双晶的干涉图在中心位置呈现四叶螺旋桨状的黑带（特别是某些紫晶）。

二轴晶干涉图：根据观察方向的不同，二轴晶干涉图分为两种，即双光轴干涉图和单光轴干涉图。双光轴干涉图由一个黑十字及“∞”字形干涉色圈组成，黑十字的两个黑带粗细不等（见图2-1-35）。“∞”字形干涉色圈的中心为二个光轴出露点，越往外色圈越密。转动宝石，黑十字从中心分裂成两个弯曲黑带，继续转动，弯曲黑带又合成黑十字。单光轴干涉图由一个直的黑带及卵形干涉色圈组成，转动宝石，黑带弯曲，继续转动，黑带又变直（见图2-1-36）。

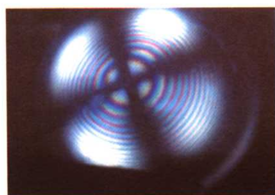


图2-1-33 一轴晶干涉图

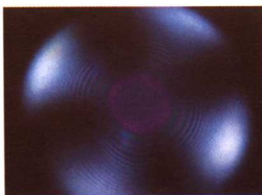


图2-1-34 牛眼干涉图

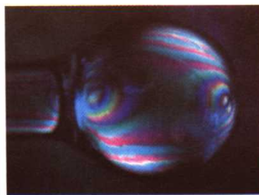


图2-1-35 二轴晶双光轴出露点干涉图

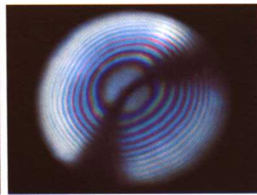


图2-1-36 二轴晶单光轴出露点干涉图

2. 观察步骤

要观察到宝石的干涉图必须将宝石在正交偏光镜下进行正确的定向，只有当光轴与偏光片近于垂直时才会出现干涉图。首先，使上、下偏光片处于正交位置，放入宝石；之后转动宝石寻找彩色干涉色；当干涉色出现后，在颜色最密集处加上干涉球，即可观察到干涉图。通常，双折率较低的宝石比双折率较高的宝石易于定向。如磷灰石，其双折率0.003，光轴与偏光片夹角只要大于50°～60°即可。换句话说，当光轴与正确的垂直方位小于30°～40°时，都可观察到干涉色。而锆石则不然，锆石的双折率为0.059，要正确定向就比较困难，只有当光轴与正确方位相差10°～15°以下时，干涉色才会出现。如果干涉图不明显，可以将宝石上下转动180°再观察。

六、利用偏光镜观察宝石的多色性

利用偏光镜也可观察宝石的多色性。具体方法是，转动偏光镜的上偏光片，使上下偏光振动方向平行，视域呈全亮；将宝石放到载物台上，分别从2～3个不同的方向上，转动宝石对其进行观察，如果宝石有颜色变化，说明其具有多色性。综合不同方向上观察到的颜色，可给出宝石大致的二色或三色性的颜色。但对多色性较弱的宝石，利用偏光镜不易观察。若要准确地描述宝石的多色性，需要借助二色镜。

七、注意事项

在使用偏光镜对宝石的光性特征、轴性、多色性进行测试的过程中，要注意其适用范围及影响测试的诸多因素。

1）不适用于不透明及透明度不好的宝石。

2）很小的宝石难以观察或难以解释。

3）裂隙和包体发育的宝石可能出现异常现象。

4）测试圆钻形宝石时最好将亭部刻面与载物台接触。

5）测试钻石及其仿制品时，最好置于浸油槽中观察。

6）有些均质体宝石如石榴石、玻璃、尖晶石、欧泊、琥珀等，因为异常双折射，可能出现许多不同的现象，最好用二色镜、折射仪等进行验证。

7）要确定轴性、光性的宝石必须是透明的非均质单晶。

8）测试时除了要转动宝石，还应转换宝石的方位，排除因光线沿光轴方向传播造成的假象。

9）注意区分均质体的黑十字形异常消光与一轴晶干涉图，黑十字形异常消光不会与干涉色同时出现，而一轴晶干涉图却是黑十字与干涉色圈同时出现。

第六节　二色镜

二色镜是用来专门观察宝石多色性的一种常规仪器。多色性在某些情况下也是判定宝石品种的依据，尤其是当折射仪、偏光镜等仪器不能确定有色宝石是均质体还是非均质体时，二色镜能非常有效地判断有色宝石的光性特征（见图2-1-37）。

一、原理与结构

当自然光进入非均质体宝石时，分解成两束振动方向相互垂直的偏振光，这两束光各自

的传播方向也不同。非均质体宝石的各向异性导致了宝石对不同振动方向的光的吸收不同。只要能将这两种振动的光分离开来，就可能看到不同的颜色。

常用的二色镜是冰洲石二色镜，它由玻璃棱镜、冰洲石菱面体、透镜、通光窗口和目镜等部分组成。冰洲石具有极强的双折射，双折射率为0.172（n_o=1.658，n_e=1.486），它能将一束光分解成两条偏振光线。冰洲石菱面体的长度设计成正好可使小孔的两个图像在目镜里能并排成像。当观察具多色性的宝石时，冰洲石二色镜将透过宝石的两束偏振化色光再次分解，使两束偏光的颜色并排出现于窗口的两个影像中(见图2-1-38)。

均质体宝石不具各向异性，因此不存在多色性，观察到的两个窗口颜色相同。



图2-1-37　二色镜外观

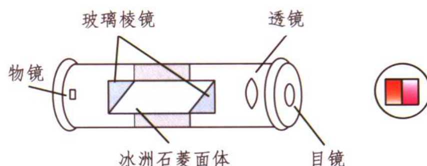


图2-1-38　二色镜结构图

非均质体有色宝石具各向异性，因而存在多色性。只有当穿过宝石的两束偏振光振动方向与冰洲石菱面体光率体主轴相互平行或垂直时，看到的才是宝石真正的多色性颜色。若透过宝石的光的振动方向与二色镜冰洲石菱面体光率体主轴相交45°时，则见不到多色性。以其他角度相交，所见到的两窗口颜色虽有差别，但仍为混合光，并非真正的多色性颜色。这就是为什么在转动二色镜和宝石的过程中，二窗口颜色不断变化的原因。应该指出的是：当非均质有色宝石的光轴平行于二色镜长轴时，看不到多色性。

二、使用方法

(1) 用白光透射宝石样品。

(2) 将二色镜紧靠宝石，保证进入二色镜的光为透射光。

(3) 眼睛靠近二色镜，边转动二色镜边观察二色镜两个窗口的颜色差异。

(4) 记录并分析结果。

三、多色性级别的划分

多色性只出现在有色的非均质体宝石中，通常单晶宝石的颗粒越大、颜色越深，多色性越明显。

根据多色性的强弱，通常可分为四级：

强：肉眼即可观察到不同方向颜色的差别。如堇青石、红柱石、蓝碧玺等。

中：肉眼难以观察到多色性，但二色镜下观察明显，如红宝石。

弱：二色镜下能观察到多色性，但多色性不明显，如紫晶、橄榄石等。

无：二色镜下不能观察到多色性，如石榴石、尖晶石等均质体宝石和无色或白色的非均质体宝石。

多色性的强弱程度划分并不是绝对的，其级别也不能作为鉴定宝石种属的确凿依据。因为多色性不仅取决于宝石本身的光性特征，还受到宝石颜色的很大影响。同种宝石，颜色越深，多色性就越明显；颜色越浅则越不明显。比如红宝石，深红色者，多色性强度为中等；

浅色者，多色性呈现弱。

有些有色的非均质宝石的多色性可呈现体色的深浅色调。如紫晶为浅至深的紫色。

四、二色镜在宝石鉴定中的应用

二色镜可帮助鉴定宝石品种和某些合成宝石。若已知两粒红色宝石分别为红宝石和红玻璃，利用二色镜，可以很容易地区分开，前者有多色性，而后者无多色性。黄绿色碧玺多色性明显，而橄榄石却较弱。垂直台面观察，焰熔法合成红宝石通常多色性十分明显，而红宝石则不明显甚至观察不到多色性。

五、注意事项

1）光源应为白光，可用灯光或太阳光。绝不能用单色光、偏振光。观察时采用透射光。

2）宝石一定为有色的单晶宝石，颜色越深透明度越好则越易观察。集合体宝石一般无多色性，但对于同种矿物集合体，若具有明显的定向性，则在二色镜下也可能呈现多色性。

3）宝石应尽量靠近二色镜的一端，眼睛靠近另一端，准焦。这样可保证有较多的透射光进入二色镜，并减少刻面的反射光进入二色镜。

4）转动宝石或二色镜，从不同的方向观察宝石，可排除光线沿宝石的光轴传播所造成的无多色性假象，还可帮助判断弱多色性宝石。

5）只有当通过宝石的偏振光振动方向与冰洲石光率体主轴一致时，所观察到的才是真正的多色性。不要将多色性的混合色当作第三种颜色(从而错误断定为具三色性)。

6）在使用偏振片二色镜时，除了要保证充足的照明外，还应注意由于宝石颜色的不均匀（如色带或色域）而影响多色性的观察。

7）多色性的强弱与双折率无关，并非双折率越大，多色性越强。

8）不要将宝石直接放在光源上，某些宝石受热后多色性可能会发生变化。

9）在宝石鉴定中，多色性只是作为一种辅助证据，必须要有其他测试方法的支持。

第七节　分光镜

宝石的颜色是宝石对不同波长的可见光选择性吸收造成的。未被吸收的光混合形成宝石的体色。宝石中的致色元素常有特定的吸收光谱。通过观察宝石的吸收光谱，可以帮助鉴定宝石品种，推断宝石的致色原因，研究宝石颜色的组成。

一、原理及结构

宝石中的致色元素主要为Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu等过渡金属元素。表2-1-2列出了其对宝石颜色的影响。除过渡金属元素外，某些稀土元素（如钕和镨）以及某些放射性元素（如铀），也会使宝石致色。

若采用一种仪器，能将白光按波长依次分开排列，我们就可以分析出哪些波段被吸收，并根据吸收特征可以判断出宝石的致色元素或（和）种类。分光镜便是这样一种仪器，根据色散元件的不同，可制作两种类型的分光镜。

表 2-1-2 主要致色元素及颜色

致色元素	符号	颜色	实 例
钛和铁	Ti、Fe	蓝	蓝锥矿、蓝色蓝宝石
钒	V	绿	祖母绿（南非）、钒钙铝榴石、水钙铝榴石
		蓝	坦桑石
		紫	合成变色蓝宝石
铬	Cr	绿	祖母绿、变石、绿玉髓、铬透辉石、含铬绿色碧玺、翡翠、翠榴石、翠铬锂辉石
		红	红宝石、红色尖晶石、粉色黄玉
锰	Mn	粉	芙蓉石、粉色碧玺、菱锰矿、蔷薇辉石
		橙	锰铝榴石、紫锂辉石
铜	Cu	蓝或绿	蓝铜矿、孔雀石、绿松石、透视石
铁	Fe	蓝	蓝色蓝宝石、蓝色尖晶石、蓝色碧玺、海蓝宝石
		绿	绿色蓝宝石、绿色尖晶石、绿色碧玺、橄榄石、硼铝镁石、软玉
		黄	黄晶、金色绿柱石、金绿宝石、黄色蓝宝石
		红	铁铝－镁铝榴石
钴	Co	蓝	合成蓝色材料如尖晶石、玻璃、石英
		粉	粉色方解石、粉色菱镁矿（与 Mg 一同致色）
镍	Ni	绿	合成黄绿色蓝宝石、绿色玉髓
		黄	合成黄色蓝宝石
		橙	合成橙色蓝宝石
稀土元素	Nd、Pr 等	黄	赛黄晶、榍石、重晶石、磷灰石
		绿	磷灰石、某些绿色萤石
放射性元素	U	褐	锆石

1. 棱镜式分光镜

棱镜式分光镜采用三角棱镜作为其色散元件（见图2-1-39）。图2-1-40为其工作原理简图。

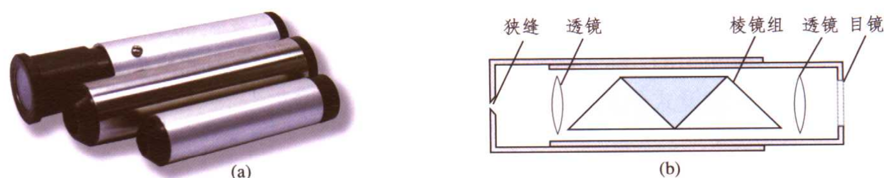


图 2-1-39 棱镜式分光镜

(a)分光镜外观；(b)棱镜式分光镜结构

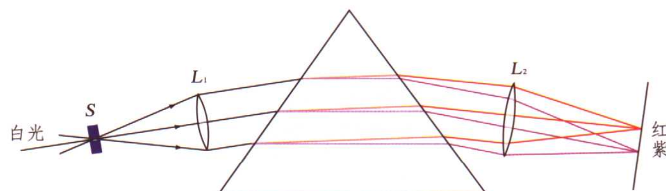


图 2-1-40 棱镜式分光镜原理

S 为一狭缝，位于 L_1 的第一焦平面。当白光通过狭缝 S 后，经过 L_1 成为平行光束。不同波长的光经过棱镜后折射方向不同，但同一波长的光束仍保持平行。穿过棱镜的光波经 L_2 后汇聚到成像焦平面上，不同波长的光波汇聚点不同，形成一系列不同颜色的像，即形成光谱。

棱镜式分光镜中的棱镜应具有以下特点：

1）棱镜材料不应吸收可见光的特定波长，否则会混淆观测结果。

2）棱镜的色散不应太大或太小，其目的是使产生的光谱有合适的宽度。

3）棱镜材料必须是均质体，否则会产生两个光谱，影响观察。

根据上述原理基础，采用棱镜组（棱镜彼此之间呈光学接触）使入射光的传播方向近于不变。棱镜通常使用铅玻璃和无铅玻璃两种材料制成。

由于单凸透镜都存在着色像差，因此设计了可前后移动的滑管，以分别对红端和紫端进行观察。此外，狭缝宽窄也是可调的，若狭缝调得太宽，入射光量增加，但同时狭缝的像宽也增加,从而引起不同颜色的像之间产生叠加，反而看不清；若狭缝调得太窄，虽然像也变得窄，但入射光量减少，影响观察。因此使用棱镜式分光镜时，应把滑管和狭缝调到最佳位置。

2. 光栅式分光镜

光栅式分光镜采用光栅代替棱镜做色散元件。光栅是一种具周期性的空间结构或光学性能的衍射屏,是一种十分精密的分光元件。当白光透过光栅后，产生衍射，形成一系列光谱（见图 2-1-41）。

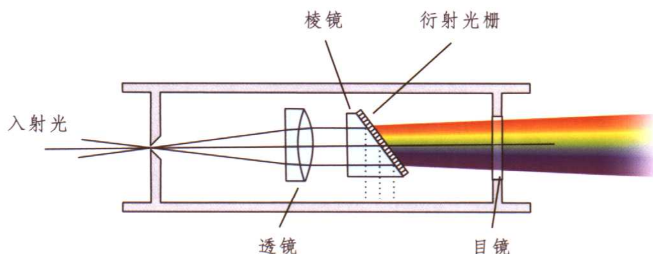


图 2-1-41　光栅式分光镜结构图

光栅式分光镜的优点是能产生线性光谱，也就是说所有的波长都是等间距排列的；而棱镜式分光镜却是非等间距的，红光区相对收敛,紫光区相对发散。因此光栅式分光镜有利于观察红区光谱的特征，棱镜式分光镜宜于观察紫区光谱的特征。

二、使用方法

分光镜的用途十分广泛，可以用来判断宝石的致色元素，鉴定具特征光谱的宝石种，以及鉴定合成、优化处理宝石和仿制品等。

（一）照明方式

由于分光镜体积小，便于携带，且特征光谱具有明确的鉴定特征，因此分光镜是一种十分重要的鉴定仪器。在使用时，常配合各种照明方式对宝石进行观察。

1. 透射光法

适用于半透明到透明、颗粒较大的宝石，可保证足够的光能透过宝石进入分光镜。利用此法要注意：

1）保证足够的光量透过宝石。

2）保证进入分光镜的光都来自宝石，从而得到清晰的光谱。

为此，常采用挡光黑板或锁光圈挡住来自宝石外部的光线，并尽可能地缩短眼睛、分光镜、宝石、光源间的距离（见图2-1-42）。

2. 内反射光法

适用于颜色较浅，宝石颗粒较小的透明宝石。宝石台面向下置于黑色背景上，调节入射光方向与分光镜的夹角，增加光线在宝石中的光程，使尽可能多的白光经过宝石的内部反射后进入分光镜（见图2-1-43）。

3. 表面反射光法

适用于透明度不好的宝石。调节入射光方向与分光镜的夹角，使尽可能多的白光经宝石表面反射后进入分光镜（见图2-1-44）。

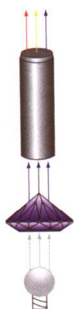


图2-1-42 透射光法示意图

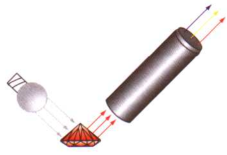


图2-1-43 内反射光法示意图



图2-1-44 表面反射光法示意图

（二）操作步骤

宝石鉴定中常用的是便携式分光镜，而实验室中还使用台式分光镜。台式分光镜是一种带光源、标尺等附件的棱镜式分光镜（见图2-1-45），其光源强度、锁光圈、镜筒、进光狭缝和波长标尺等都可调节，可以观察到明亮而清晰的光谱。现以透射光法为例说明台式分光镜的使用方法。

1）将宝石用宝石夹夹住贴近锁光圈口或直接放在锁光圈孔上，根据宝石的尺寸调节锁光圈口。

2）寻找和对准宝石的最亮点，以保证透过宝石的光能最大限度地进入分光镜。

3）调节光源强度，浅色宝石应强度较低，半透明或深色宝石应强度较高。

4）完全关闭进光狭缝，然后缓慢开启，直到全部光谱清晰。对于透明宝石，狭缝开口极窄，几近关闭，通常光谱在狭缝即将完全关闭时最为清晰；对于半透明宝石狭缝开口稍宽。观察红区光谱时，狭缝应调窄；观察紫区光谱时，狭缝应适当调宽。

5）缓慢调节滑管，准焦观察。



图2-1-45 台式分光镜外观

三、使用分光镜观察光谱时的注意事项

1）所观察到的光谱受下列因素的影响：

照明光源　应为白光源（连续光谱），光源既不能有发射谱线也不能有吸收谱线。如太阳

光和室内照明用日光灯，都有发射光谱，不能用做分光镜的照明光源。因此最好采用白炽灯、手电筒或特制光纤灯做光源。

宝石的大小　宝石较小，其光谱中的吸收线(带)可能相对较弱。

宝石颜色的深浅　同种宝石的颜色越深，吸收越强，光谱就越清晰。

宝石的透明度　对于透明宝石而言，穿过宝石的光程越长，光谱越清晰；而对于半透明宝石而言，穿过宝石的光程要适当。

分光镜狭缝应保持清洁，若有灰尘，会在光谱上产生黑色水平线。

宝石长久受光源热辐照，光谱会逐渐模糊甚至完全消失。

2）某些宝石的光谱具有方向性　这可能是由宝石的异向性引起的。

3）鉴定宝石时应与其他鉴定仪器配合使用　如蓝宝石和合成蓝宝石拼合石在分光镜下可呈现蓝宝石吸收光谱，石榴石为顶的拼合石可能呈现石榴石光谱，分光镜不能准确鉴别其是否为拼合宝石。因此分光镜应与显微镜等其他鉴定仪器配合使用。

4）应在暗环境下使用分光镜　在暗环境下使用分光镜可以排除某些发射谱的影响，如有些宝石在黄、绿、蓝和紫区有亮线，这是由于室内日光灯的光反射进入分光镜所致。

5）应该注意的是，不是所有的宝石都产生吸收光谱。另外测试时勿用手持样品，因为血液会产生波长为592nm的吸收线。

分光镜的使用很大程度上基于实践经验和宝石学知识，尤其是对宝石特征光谱的认识，只有熟记了宝石的特征光谱和过渡元素的特征谱线，才能有效地利用分光镜。

四、主要色素离子光谱特征

1. 铬

主要形成绿色和红色。铬的吸收光谱主要表现为：红端有许多窄线，最强的两条位于深红区，另有两条位于橙区。在黄或绿区有一宽吸收带，此带的宽度、位置、强度与宝石的颜色密切相关。蓝区可有数条窄线，紫区吸收。铬产生的颜色色彩鲜艳，吸收谱清晰（见图 2-1-46）。

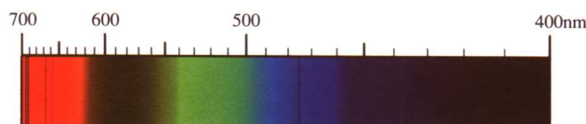


图 2-1-46 铬元素的吸收光谱（红宝石）

2. 铁

主要形成红和绿、蓝、黄等色。铁的谱线的清晰程度远远小于铬的吸收光谱。铁的吸收光谱主要表现为：主要的吸收带位于绿和蓝区，但光谱的各部分都可有若干吸收，铁致色的宝石颜色通常较暗，如铁铝榴石、橄榄石等（见图 2-1-47）。

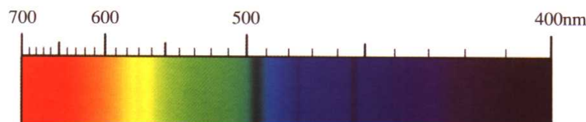


图 2-1-47 铁元素的吸收光谱（橄榄石）

3. 锰

主要形成粉、橙色。锰的吸收光谱主要表现为：最强的吸收位于紫区并可延伸到紫区外，部分蓝区有吸收，致色宝石主要呈现粉红或橙红，如菱锰矿、蔷薇辉石（见图 2-1-48）。

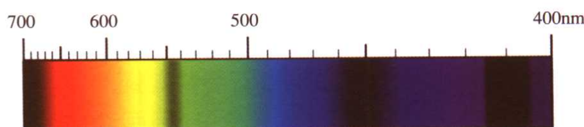


图 2-1-48 锰元素的吸收光谱（菱锰矿）

4. 钴

主要形成蓝色和粉色。钴的吸收光谱主要表现为：三条强而宽的吸收带分别位于黄、绿区，如钴玻璃、蓝色合成尖晶石（见图 2-1-49）。

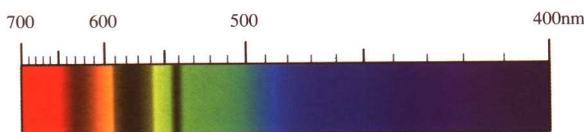


图 2-1-49 钴元素的吸收光谱（Co 致色的蓝色合成尖晶石）

5. 钕和镨

钕和镨常共生在一起，主要形成黄、绿色。钕和镨的吸收光谱主要表现为：在黄绿区形成特有的细线，如磷灰石、稀土玻璃（见图 2-1-50）。

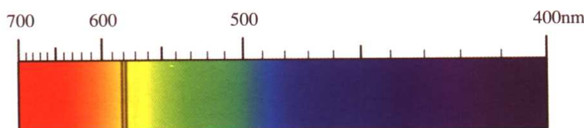


图 2-1-50 钕和镨的吸收光谱（磷灰石）

6. 铀

虽不能导致鲜明的颜色却能产生明显的吸收谱。铀的吸收光谱主要表现为：最稳定的吸收谱线位于中红区，其他各色区都可伴有谱线，如锆石（见图 2-1-51）。

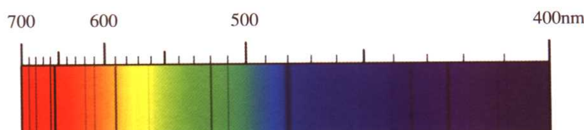


图 2-1-51 铀的吸收光谱（锆石）

第八节 滤色镜

宝石的颜色是宝石对白光选择性吸收后残余色光混合所致。肉眼所见的颜色是一种混合光波，因此有些相似的颜色，其光波组成却不同。

滤色镜主要由一些彩色滤光片组成，这些组合的滤光片仅允许部分波长的光波通过。根

据滤光片允许通过光波波长的范围的不同，可以制作成多种类型的滤色镜，如查尔斯滤色镜、交叉滤色镜、红宝石滤色镜等，用于不同宝石种的鉴别。

一、查尔斯滤色镜

查尔斯滤色镜是宝石鉴定中最常用的一种滤色镜，又称为“祖母绿镜”（见图2-1-52）。这种滤色镜由英国宝石测试实验室的安德森和佩恩研制，并最先在查尔斯工业学校使用，因而称为“查尔斯滤色镜”。最初的设计目的是用来快速区分祖母绿与其仿制品。

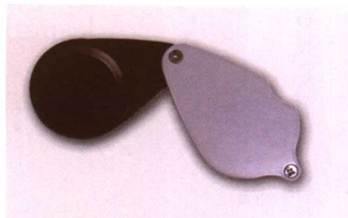


图2-1-52 滤色镜外观

查尔斯滤色镜由仅允许深红色光和黄绿色光通过的滤色片组成，通过滤色镜直接观察物体，所有物体只会出现两种颜色，即黄绿色或红色。

祖母绿虽为绿色，但因为含致色元素Cr，而允许部分红色光透过。因而在查尔斯滤色镜下，这类祖母绿呈现红色或粉红色。但后来发现许多新产地的祖母绿，特别是南非的祖母绿，在查尔斯滤色镜下并不变红，另外随着合成祖母绿的大量上市（合成祖母绿在查尔斯滤色镜也呈现红色），查尔斯滤色镜在鉴定祖母绿中的作用越来越受到限制。不过在某些情况下，查尔斯滤色镜仍不失为一种简便快速的辅助鉴定工具。

使用查尔斯滤色镜时，应在白色无反光背景条件下，采用强白光照射宝石，将查尔斯滤色镜紧靠眼睛，距离宝石30～40cm处观察宝石颜色的变化。其主要用途有：

1. 鉴定合成蓝色尖晶石、钴玻璃和合成蓝色水晶

钴化合物常用来在合成尖晶石、玻璃、合成水晶中产生蓝色。可用于模仿许多蓝色宝石，如海蓝宝石、蓝色蓝宝石、蓝色托帕石、蓝色锆石、天然蓝色尖晶石等。这些钴致色的合成材料能透过红光，所以在滤色镜下呈深浅不一的红色。而天然的蓝色尖晶石、蓝宝石、海蓝宝石和蓝色黄玉等却显示绿色或灰绿色。

一些产于斯里兰卡的粉红色蓝宝石，由于在宝石中含有微量的Cr元素而在滤色镜下变红。

2. 鉴定染色绿玉髓和含铬绿玉髓

天然的绿玉髓有两类，一类由铬致色，一类由镍致色，铬致色者在查尔斯滤色镜下变红，而镍致色者却不变。

染色绿玉髓的染料常含Cr，因此在查尔斯滤色镜下也会变红。染色绿玉髓和含铬绿玉髓可以通过分光镜进行鉴别。

3. 鉴定染色翡翠

采用铬盐染色的翡翠在查尔斯滤色镜下会变红，而天然翡翠通常不变色，但这也并不绝对，也可利用分光镜进一步鉴别。

4. 帮助区分天然宝石与其合成品

查尔斯滤色镜在对祖母绿的鉴定中有时仍能行之有效，比如若呈很亮的红色，则是合成品的可能性极大。

此外翠榴石、某些绿色锆石也呈红色，需借助其他检测手段进行区分。

二、交叉滤色镜

交叉滤色镜实际上是一种检验宝石荧光性的仪器。其由一片蓝色滤光片和一片红色滤光

片组成，蓝色滤光片常用硫酸铜溶液代替。

白光穿过硫酸铜溶液时，除了蓝光外，全部被吸收，红色滤光片则吸收所有非红光。因此，若一束白光依次穿过硫酸铜溶液和红色滤光片后，将被全部吸收。若在红色滤光片前放置宝石，此宝石在蓝光照射下发出红色荧光，大量的红光通过滤光片，宝石看上去显红色。

交叉滤色镜可帮助鉴别具红色荧光的宝石，如红宝石、红尖晶石、变石、粉色黄玉、祖母绿和天然黑珍珠。

除上述两种滤色镜外，目前还有许多种具专门用途的滤色镜，如专门鉴定红宝石的红宝石镜；鉴定海蓝宝石、蓝色黄玉、蓝宝石的蓝色宝石滤色镜等。其设计思路、原理甚至外观都大同小异，只是允许透过的光波波段不同而已。

三、注意事项与局限性

1）利用滤色镜观察宝石仅可作为补充的测试手段，不能以此作为宝石鉴定的主要依据。

2）虽然滤色镜最初被称为祖母绿滤色镜，但实际上它不能将常与祖母绿混淆的宝石材料与祖母绿区分开来。

3）经滤色镜所见颜色的深浅取决于待测样品的大小、透明度及其本身的颜色深浅。

第九节　天　平

天平是一种称量物体重量的工具，在宝石学中不仅用于宝石的称重，而且还可测定宝石的相对密度。对于宝石质量（重量）的称量，国家标准要求天平精确到万分之一克。宝石的质量（重量）与密度是鉴定及评价宝石的一个重要的依据，因此正确地使用天平是一项重要的技能。

天平的类型有多种，如单盘、双盘、电子天平（见图2-1-53）及弹簧秤等，但不论哪种天平，要保证称重的准确性，必须做到以下三点：①保持天平水平；②使用前应校准并调至零位；③称重时保证环境的相对静止，如防止天平台的震动、空气的对流等。

由于称重是一种简单的操作，因此本节着重介绍利用天平如何测试宝石的密度。

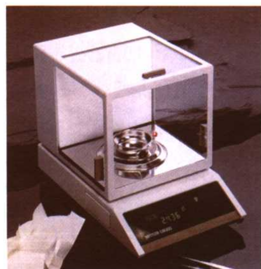


图2-1-53 电子天平外观

一、原理

宝石的密度是由组成宝石的化学元素的原子量和晶体结构中原子之间排列的紧密程度决定的。因此不同的宝石具有特定的密度值，宝石的密度具有重要的鉴定意义。

宝石的密度常用单位是g/cm^3，表示体积为$1cm^3$的宝石的质量。密度的测定十分复杂，因相对密度值与密度值十分接近，二者的换算系数仅1.0001，在宝石学中，通常把测定的相对密度值作为密度的近似值。

宝石的相对密度是指在4℃及1个标准大气压[1]的条件下，单位体积的宝石质量与同体积水的质量的比值，没有单位。

[1] 1atm（标准大气压）=101325 Pa。

相对密度的测定方法（也称静水称重法）的依据是阿基米德定律：当物体浸入液体中时，液体作用于物体的上浮力等于所排开液体的质量。

若液体为水，水温对单位体积水的质量影响忽略不计，根据阿基米德定律即可推出宝石相对密度（比重）的计算公式：

相对密度(d)＝宝石的质量／宝石所排开水的质量

＝宝石的质量／(宝石的质量－宝石在水中的质量)

≈宝石在空气中的重量／(宝石在空气中的重量－宝石在水中的重量)

空气对宝石的浮力可以忽略不计，宝石的质量也就是物体在空气中的重量。要得出相对密度值，只需称出物体在空气中和水中的质量即可。

二、测试步骤及注意事项

宝石的重量可直接在空气中称量得出。宝石在液体（水）中的重量可依照图2-1-54中所示，利用木架、铜丝、烧杯在天平上进行称量。称量水中宝石的重量时一定要注意排除周围物体对称量数据的影响。如宝石周围不能附着气泡，支架、烧杯不能与天平托盘接触，铜丝不能与烧杯接触等。为了减少气泡和水的表面张力对宝石重量的影响，可采用蒸馏水(或冷开水)加入1～2滴洗洁精或少许洗衣粉。

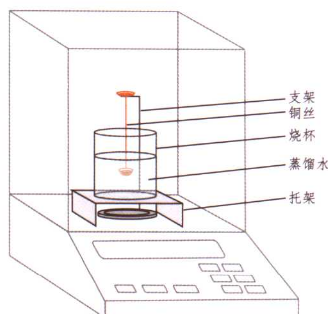


图2-1-54 静水称重法

三、影响测试精度的因素

（1）天平的精确度

天平的精确度越高，测量的结果越准确。

（2）宝石的大小

通常情况下，宝石越大则测定相对密度的误差越小。比如重2ct的蓝宝石，若水中称重误差0.0lct，则最后的相对密度值误差可达0.08ct。据Liddicoat统计，测量3～4ct的宝石，误差小于0.10；2～3ct者，±0.15；1.25～2ct，±0.20；0.75～1.25ct；±0.25。由此可见，即使严格按照操作步骤在标准天平上测定相对密度，也有误差。越小的宝石其误差越大，导致错误结论的可能性也就越大。所以建议不采用此法测定lct以下宝石的相对密度。

（3）水的表面张力和附着于铜丝或宝石上的气泡

水的表面张力和附着于铜丝或宝石上的气泡都会影响宝石在水中的质量。将水烧开可减少气泡，加入一到二滴清洁剂可减少水的表面张力。此外,为了减小水的表面张力，测定相对密度常用四氯化碳代替水，计算公式变为：

$$相对密度(d)=\frac{宝石在空气中的质量}{宝石在空气中的质量-宝石在液体中的质量}\times 四氯化碳的相对密度$$

四氯化碳的密度值随温度而有所变化，具体密度可由四氯化碳密度与温度变化曲线获得。在室温下，取相对密度值1.58即可。

利用静水称重法测试密度，不受宝石的密度大小限制，但不适用于测试多孔宝石。因为多孔宝石的孔洞中充填有不易排出的空气，在水中称量的质量值较小，计算出的相对密度值就会较实际小。然而只要宝石的质量足够大，比如3～4ct，则由于多孔所造成的误差是不会

太大。尽管如此，静水称重法测定宝石的相对密度有一个很大的局限，那就是测试所需时间太长，即使有经验者也需几分钟方能完成。此外，许多宝石的相对密度本身就有一个变化范围，在宝石鉴定中常只需测试宝石相对密度的大致范围即可，为此实验室也常采用重液比较法，这种方法将在后面详细介绍。

第十节 重液（浸油）

宝石鉴定中常利用宝石在重液（浸油）中的运动状态来估测宝石的相对密度范围，这种测定方法快速简单。正确利用重液（浸油）来测定宝石的相对密度，是宝石鉴定工作者必须掌握的技能。

一、重液（浸油）的配制

重液(浸油)是油质液体，利用其密度，来测定宝石的相对密度时常称为重液(见表2-1-3)；利用其折射率比较观察宝石时常称为浸油或浸液。理想的重液（浸油），要求挥发性尽可能小，透明度好，化学性质稳定，黏度适宜，尽可能无毒无臭，因此宝石学中常用的重液种类并不多。为了配制出某种密度值或某种折射率值的混合重液（浸油），除上述要求外，还应考虑：

1）低值重液（浸油）与高值重液（浸油）能无限混溶，混合后不产生第三种物质。

2）两种纯重液（浸油）的挥发性要尽可能相近，否则混合重液（浸油）的相对密度或折射率会随时间而变化。

表2-1-3 常用重液（浸油）的性质

名称	分子式	n	可混性	$\rho/g\cdot cm^{-3}$
甲 苯	$C_6H_5CH_3$	1.49	与多种烃类相混	0.87
二甲苯	$C_6H_4(CH_3)_2$	1.49	与多种烃类相混	0.87
饱和盐水	H_2O+NaCl		与水相混	± 1.13
一溴甲烷	$C_{10}H_7Br$	1.66	与多种烃类相混	1.47
二溴乙烯	$C_2H_4Br_2$	1.54	与多种烃类相混	2.18
三溴甲烷	$CHBr_3$	1.59	与多种烃类相混	2.89
四溴甲烷	$CHBr_2CHBr_2$	1.63	与多种烃类相混	2.96
松氏重液	钾碘化汞的饱和水溶液		与水相混	3.18
克氏重液	镉钨酸硼的水溶液		与水相混	3.28
二碘甲烷	CH_2I_2	1.74	与多种烃类相混	3.32
陆氏重液	钡碘化汞的水溶液		与水相混	3.58

如已知两种密度的重液（浸油），为配制出另一种密度值的重液（浸油），根据公式：

$$\begin{cases} \rho V=\rho_1 V_1+\rho_2 V_2 & (1) \\ V=V_1+V_2 & (2) \end{cases}$$

解得：

$$V_1=\frac{(\rho-\rho_2)V}{\rho-\rho_2}, \quad V_2=\frac{(\rho-\rho_1)V}{\rho_2-\rho_1}$$

式中：ρ——所需配制重液（浸油）的密度值；V——所需配制重液（浸油）的体积；V_1、V_2——所求两种已知重液（浸油）的体积；ρ_1、ρ_2——两种已知重液（浸油）的密度值。

例如：利用二碘甲烷和三溴甲烷配制密度值为3.05的重液10ml，

则需二碘甲烷体积：$V_1=\dfrac{(3.05-2.89)\times 10}{3.32-2.89}=3.72(\mathrm{ml})$

三溴甲烷体积：$V_2=\dfrac{(3.05-3.32)\times 10}{2.89-3.32}=6.28(\mathrm{ml})$

二、宝石相对密度的测定及注意事项

在使用重液（浸油）测定宝石相对密度时，常采用重液比较法，其基本原理与静水称重法相同。根据宝石在已知密度的重液（浸油）中的运动状态(下沉、悬浮或上浮)，即可判断出宝石的密度范围。

测试时要保证宝石和镊子的清洁，以免污染重液（浸油），影响测试结果。

用镊子夹住宝石并浸入重液（浸油）中部，轻轻松开镊子，如果宝石上浮，则表明宝石的密度小于重液（浸油）的密度；如果保持悬浮状态，则表明宝石的密度与重液（浸油）的密度相同；如果宝石下沉，则表明宝石的密度大于重液（浸油）的密度。如果上浮或下沉的速度缓慢则表示宝石与重液（浸油）两者密度值相差不大；若下沉速度快，则表明宝石与重液（浸油）两者密度值相差较大（见图2-1-55）。

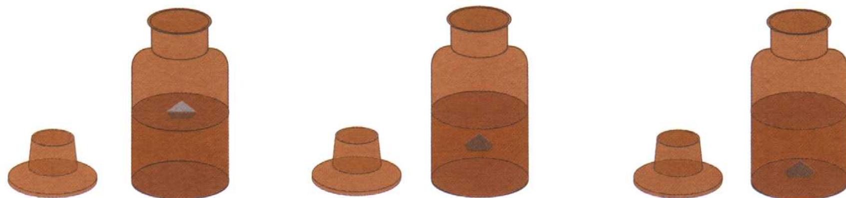


图2-1-55 利用重液（浸油）测定相对密度示意图

在重液（浸油）测试宝石相对密度过程中要注意以下几个问题：

1）宝石中因含有包体和杂质(如充填物、染色剂等)等原因，同一类宝石的相对密度会有所变化。

2）每次测试时，只打开一个重液（浸油）瓶并只测定一个样品，将重液（浸油）瓶瓶盖朝上放置，以免污染。

3）重液（浸油）应用棕色瓶盛装，避免阳光照射，以免重液（浸油）遇光发生分解。

4）采用干净的镊子夹持洁净的宝石，并在每次测试完毕后清洁并干燥宝石和镊子。

5）测试完毕后，迅速盖紧重液（浸油）瓶瓶塞。

6）由于重液（浸油）有很强的腐蚀性，因此在使用时，注意不能溅出重液（浸油），以免粘在皮肤、衣物上。

7）测试时一般先使用密度较大的重液（浸油）(如密度为3.32g/cm^{3}的二碘甲烷)，以节省时间。

8）环境温度可影响重液（浸油）的密度，即温度越高，重液（浸油）的相对密度越小。

三、利用重液（浸油）观察宝石

1）检测拼合石　沿平行于腰平面的方向，可以观察各种拼合宝石的拼合特征。

2）与显微镜配合观察宝石结构　当宝石的折射率与浸油的折射率相近时，宝石表面的反射光、漫反射光减少，有利于对宝石的内部特征如生长带、色带、包体等进行观察和研究。

3）确定宝石的干涉图　当宝石浸入重液（浸油）中时，由于减少了反射光和折射光，加上正交偏光镜还能清楚地观察干涉图，并利用 Plato 法鉴定焰熔法合成刚玉类宝石。Plato 法主要用于鉴定包体特征不明显的焰熔法合成刚玉。其观察条件较为严格：正交偏光下宝石浸入二碘甲烷中，光轴平行观察方向，亮域照明，在 20× ～40× 下合成品会出现两组呈 60° 交角的黑线。

4）检测复式生长处理和扩散处理　利用重液（浸油）可以观察合成祖母绿的复式生长层和扩散处理宝石等。

四、利用重液（浸油）测宝石的近似折射率

重液（浸油）测定宝石的折射率只能是粗略地估计，不能确定具体数值。当宝石浸入重液（浸油）中时，宝石的折射率与重液（浸油）折射率越接近，宝石的轮廓越不明显；相反，宝石的折射率与重液（浸油）折射率相差越大，宝石的轮廓越清晰。

五、重液(浸油)的保存

为了防止重液（浸油）与光和空气作用，防止挥发，必须将重液（浸油）储存在棕色油滴瓶中，同时放入纯铜片，每次使用完毕一定要将浸油瓶盖好。

每瓶重液（浸油）都有其密度值或折射率值的标记，并应在瓶盖和瓶身上贴上相同的标签，再涂上一层薄蜡，而后按数值大小依次放入浸油箱中。重液（浸油）箱应放在阴暗处，并防止温度过冷或过热变化。由于重液（浸油）的组成溶液的挥发性不同，所以重液（浸油）的相对密度会随时间产生变化，再次使用时必须重新校准。

第十一节　钻石鉴定相关仪器

一、热导仪

物质的热能可通过三种方式进行传递：传导、对流和辐射。在室温条件下，主要是传导。



图 2-1-56　热导仪外观

热有四种固有的特性，即热导率、热扩散率、传热系数和比热容。其中热导率对于物质而言是一常数，表示每秒钟通过一定厚度的物质的热量。热导率的测量单位为瓦特每米每摄氏度（W/m・℃）。热导仪是根据宝石的导热性能设计并制造的，它是一种用途较为专一的鉴定仪器。由于在所有宝石中，钻石具有极高的导热性能，因此，热导仪主要用于鉴别钻石及其仿制品（见图 2-1-56）。

（一）设计原理

对于非均质体晶体而言，因为晶体结构的异向性，不同方向热导率不同。

通常认为热量的传递是通过自由电子和光子进行的。因此，金属的热导率较非金属大，而非晶质体中由于结构单元的无序性，光子产生更多的散射，因此晶体的热导率(λ)较非晶体大。然而钻石是一例外，虽为非金属，但其热导率却比金属还要大(见表2-1-4)。其原因是，钻石的热导率与钻石晶体中碳原子振动或共振频率有关。在钻石晶体中，C原子非常轻，而结合的键力却很强。因此，原子的震动或共振频率非常高，并且C原子振动时消耗的能量非常小，热量可以非常迅速地传过钻石而不会被吸收。

表2-1-4 几种材料的热导率

名称		$\frac{\lambda}{w(m \cdot ℃)^{-1}}$
钻石		669.89～2009.66
银（100%）		418.68
铜		388.12
金（100%）		296.01
铝		203.06
铂		69.5
刚玉	Z轴	34.92
	X轴	32.32
尖晶石		9.5
绿柱石	Z轴	5.48
	X轴	4.35

（二）结构

热导仪包括热探针、电源、放大器和读数表四部分。读数表可由信号灯或鸣叫器代替，显示测试结果。电源为热探针供热，并为整个仪器供电。整个热导仪的关键元件是热探针，仪器内部结构如图2-1-57所示。

电热元件为铜针，铜针两端连接仪表形成电路，即组成了热电偶。接通电源，经预热，铜针升至一定温度即可测试。当铜针外端与宝石表面接触时，热量传递给宝石，铜针外端降温，温度变化通过热电偶测出，再经过放大器和读数表或蜂鸣器显示结果。

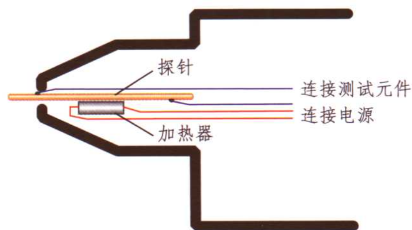


图2-1-57 热导仪结构示意图

（三）测试

1）待测宝石必须干燥和干净，测试应在室温下进行。

2）打开仪器开关，预热。手握探测器，以直角对准测试宝石，若探头接触了金属托，许多仪器会自动发出警报声。

3）施加一定的压力，仪器显示出光和声信号，得到测试结果。

（四）注意事项

1）热导仪的探头非常精细，因此在使用过程中，必须小心以免损坏。使用完毕应立即盖

上保护罩。

2）电池电力不足时应及时更换，以免测量结果不准确。

3）长时间不使用，应将电池取出，以免造成仪器的腐蚀与损坏。

4）定期清洁探头，测试前将探头在一张软纸上轻擦即可。

5）测试裸石时，应使用金属托盘作为底托，热导仪通常有此附件。测试小粒宝石，如分钻，光和声信号可能不会很强。

6）在测试时，铜针应尽可能与测试宝石表面垂直接触。

7）宝石表面应干净、干燥，排除宝石之外的干扰。

8）尽量控制室内空气的流通，如不要急促呼吸，不要正对空调或窗户测试。

二、钻石确认仪（DiamondSure™）

钻石确认仪 (DiamondSure™)是一种快速的天然钻石筛选仪器（见图 2-1-58），可以检测重量在0.10～10ct范围内的无色—浅黄色（Cape系列）抛光钻石，它可以在各种环境下对已切磨钻石进行鉴定、对有怀疑的样品建议做进一步检测分析。但是被“建议做进一步检测”的样品，样品必须经附加检验才可确认其准确的产品类别，因为该仪器尚不能识别某些罕见天然钻石（大约占所有普通钻石的1%～2%）。钻石确认仪主要用于检测无色或基本无色的钻石。通常来讲，棕色天然钻石或其他彩色天然钻石鉴别后很容易显示“请进一步检测”，但天然黄钻石例外。该仪器可以鉴别黄色合成钻石与天然黄色钻石。钻石确认仪并不适用于其他宝石或钻石仿制品的鉴别分类，也不能用于检测天然钻石进行了何种人工处理，如裂缝填充、辐照或热处理等。

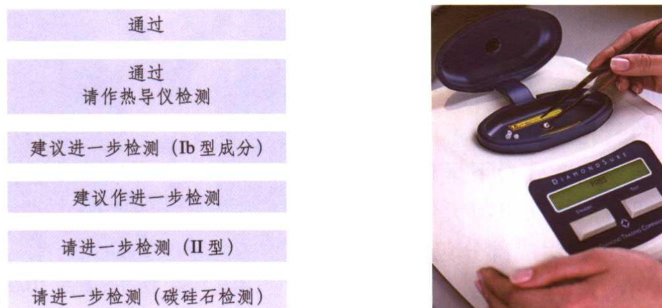


图 2-1-58 钻石确认仪（DiamondSure™）及其显示内容

钻石确认仪操作简便，既可用来检测未镶嵌的钻石，也可检测简单镶嵌过的钻石。检测时，将抛光的待测样品台面朝下放在光纤点中心位置、按“检测”键，这时仪器将自动检测并分析样品的可见光吸收光谱，几秒钟后显示屏上将出现测试结果。如果样品处于良好的检测状态、操作准确，会有以下几种结果之一出现在液晶显示屏上：

1）显示“通过”说明样品为天然钻石，无需做进一步检测。

2）显示“通过，请作热仪检测”的样品，如果在热导仪检测时显示为“钻石”，则该样品为天然钻石。合成立方氧化锆在钻石确认仪上也显示这样的结果，但热导仪检测不会显示为钻石。

3）显示“建议作进一步检测”，如合成钻石将会显示这一结果或者是以下两种结果之一。许多钻石仿制品也会显示这一结果，偶尔在检测天然钻石时也会出现这种信息，尤其是彩色

钻石，但是通过常规宝石鉴定就可以确认。

4）显示“请进一步检测（Ib型成分）”：Ib型成分是黄色合成钻石的特点。在极少数情况下，天然钻石也可能显示此特性（这种极少的天然钻石则被称为“金丝雀黄”）。大部分浅黄色合成钻石经检测都会显示此结果。

5）显示“请进一步检测（II型）”：所有无色天然II型钻石、合成II型钻石以及钻石仿制品都会显示如此结果。偶尔也会有I型钻石检测后显示此信息。如果需要鉴定类别，该仪器的检测结果还需要通过红外吸收光谱分析确认。

6）显示“请进一步测试（碳硅石检测）”：碳硅石一般都能被钻石确认仪辨识，大部分都会显示本条信息。进行一些简单的宝石鉴定测试就可区别碳硅石和钻石。

实验性检测表明天然钻石中大约只有1%的天然钻石在钻石确认仪检测会被要求“建议作进一步检测”，这其中包括了稀少的II型钻石和极少部分Ib型钻石，这并不能肯定它们就是合成钻石或钻石仿制品，这种情况下常规的宝石学方法鉴定是不可缺少的。

总之，钻石确认仪是一种天然钻石快速分辨仪器，易于操作，能将所有的合成品及仿制品筛选出去，能识别II型钻石和合成碳硅石。DTC对60万粒天然钻石样品进行过测试，98%的天然钻石样品“通过”钻石确认仪检测，不需要其他检测；仅不到2%的样品需要做其他的检测，以判断其是否为天然钻石。

三、钻石观测仪（DiamondView™）

DiamondView™是DiamondSure™的绝好补充，运用钻石观测仪对样品的荧光图谱进行分析，可对被钻石确认仪“建议作进一步检测”的样品做准确鉴定。当然，DiamondView™也可以作为检测或研究仪器单独使用。DiamondView™的原理是依据天然钻石与合成钻石的荧光图谱显示不同的生长结构，合成钻石在短波紫外光下呈现特征的生长区结构荧光图谱，从而可与天然钻石相区分。DiamondView™的组成部分包括：电脑及显示屏，照相装置，真空夹持镊子及其他辅助元件（见图2-1-59）。

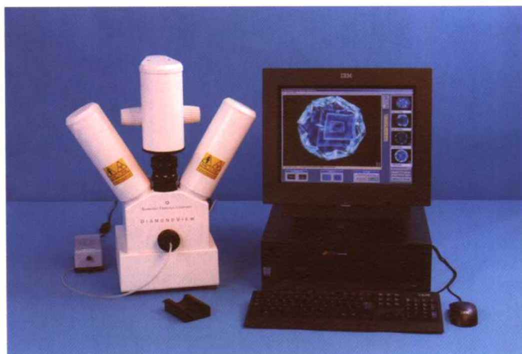


图2-1-59 钻石观测仪（DiamondView™）

使用时将已抛光的钻石样品置于真空样品仓的短波紫外光下，电脑显示屏上会出现样品的紫外荧光图谱，操作者可方便地对焦于样品表明并选择适当的放大率。按“UV”（即紫外光）键，可见光关闭，紫外光打开，当显示屏上出现合适的图谱时，按“Capture”（即抓图）键，图像会保留在显示屏上。紫外灯熄灭后，显示屏会自动出现磷光图谱，以作检查。通常情况下近无色的天然钻石磷光很弱，而HTHP合成钻石磷光都很强、持续时间也长。磷光图谱会显示在屏幕的右下角。

与DiamondView™连接的电脑中存有各种天然和合成钻石的紫外荧光图样，可直接将待测样品的荧光图样与之对比，从而得出结论。

总之，对钻石确认仪“建议作进一步检测”的样品，可借助钻石观测仪作荧光图谱分析。钻石观测仪可利用强短波紫外灯照射样品，激发样品获取荧光图谱，如HPHT合成钻石的荧光图谱显示特别的几何型生长区结构，从而达到进一步检测的目的。

四、590型无色合成碳硅石/钻石测试仪


图2-1-60 590型无色合成碳硅石/钻石测试仪

用热导仪测试钻石和合成碳硅石时，两种材料均显示为钻石，二者无法区分。为此美国C3公司设计了590型测试仪，用于热导仪测试之后进一步区分钻石和合成碳硅石。590型测试仪体积小，携带方便，用途专一，操作简便（见图2-1-60）。

590测试仪的设计原理是在导热性测试后，检测宝石对紫外光的吸收。钻石不吸收紫外光，紫外光可以穿透钻石，而合成碳硅石对紫外光有强烈的吸收。

测试时使宝石台面与仪器光导纤维探头端部保持垂直并接触（镶嵌钻石的金属托不能与探头接触）。如果是钻石，就能激活蜂鸣器和绿色指示灯；如果是合成碳硅石，只要宝石的台面与探头保持接触且未翻转，则绿色指示灯和蜂鸣器就应处于关闭状态。

590型测试仪为精密光导纤维电子仪器，必须在正常温度、湿度下使用，不得储存在有化学品的地方。光导纤维探头的端部应保持清洁。清洁探头时，应使用蘸过酒精的棉签轻轻擦拭其端部，然后用柔软的棉布擦干。由于光导纤维探头从测试仪中伸出，所以必须小心操作，以免对其造成损伤。590型测试仪在不用时，必须把防护滑板盖住测试口以保护探头。不得用手指直接触摸从590型测试仪的窗口可以看见的卤灯，因为卤灯在点亮后温度很高，皮肤上的盐分和油分对其有损坏。应用清洁的塑料或布擦拭卤灯，如果卤灯被手指触摸到，必须在使用前用酒精棉签擦拭干净。

五、反射仪

在宝石鉴定中，反射仪主要用于测试折射率超过标准折射仪极限的高折射率宝石的近似折射率，如人造钇铝榴石、钆镓榴石、钛酸锶、合成立方氧化锆、钻石等。

（一）原理

反射率是指单位时间内从界面单位面积上反射光的强度与入射光的强度之比。宝石对光线的反射程度取决于该宝石的分子结构和成分，还取决于宝石表面的抛光程度。

反射仪是根据宝石的反射率性质设计的一种仪器，它可以测量从宝石表面返回的光量。宝石的反射率与折射率之间存在准线性关系，即：

反射率 = 反射光线的强度 / 入射光线的强度 = $(n_1 - n_2)^2/(n_1 + n_2)^2$

式中：n_1——宝石的折射率；

n_2——周围介质的折射率，空气的折射率为1。

根据各种宝石的折射率，可以依上式计算出各种宝石的反射率。由于宝石的折射率有一定的变化范围，因此宝石的反射率也存在一定变化范围（见表2-1-5）。

表2-1-5 常见宝石的折射率与反射率（*R*）

宝石	*n*	*R* / %	宝石	*n*	*R*/%
普通玻璃	1.4～1.6	2.78～2.53	人造钆镓榴石	2.03	11.55
黄玉	1.61～1.64	4.46～5.88	合成立方氧化锆	2.15	13.33
尖晶石	1.71～1.73	6.86～7.15	人造钛酸锶	2.41	17.09
刚玉	1.76～1.77	7.58～7.73	钻石	2.417	17.23
人造钇铝榴石	1.834	8.66	合成金红石	2.6～2.9	19.75～23.73
锆石	1.92～1.99	9.93～10.96	合成碳硅石	2.65～2.69	20.29～20.97

（二）反射仪的结构和使用

LC特朗姆帕（Trumper）于1959年设计出了世界上第一台测定宝石反射率的仪器。目前采用电子反射仪，利用远红外线发光二极管作为入射光源，用袖珍的光电管检测从宝石表面反射的光量，从而达到鉴定宝石品种的作用。

反射仪的右上角（或下半部）有一个圆形测光孔，孔内构造如图2-1-61所示。内部有一个发光二极管和一个光电接收器。测试时，将宝石抛光良好的台面对准测光孔，盖好遮光罩，打开开关。仪器通电后二极管发出一束波长930nm的红外光，以大致7°～10°的入射角射到宝石台面上，经台面反射后，射入光电管的接收器。接收器的光电管产生光电流，所产生的电流大小与从宝石台面反射回的光的强度成正比。光电流传到反射仪的仪表显示器中，通过指针偏转所指的刻度，即可知道所测宝石的品种。

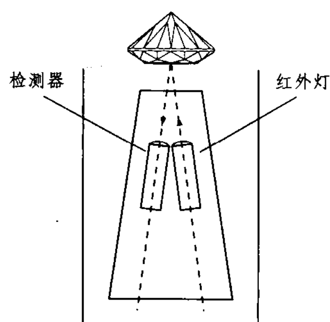


图2-1-61 反射仪原理图

反射仪显示器上的刻度，分为高、低两档。低档反射率范围是2.78%～8%；高档反射率范围是8%以上。两档在测定时可由按钮变换。只有宝石的折射率大于1.80，即反射率高于8%时，才适用于反射仪。

（三）使用反射仪的注意事项

目前，大多型号的反射仪已把反射率转换成了折射率，但其测量精度不如常规折射仪，只能达到±0.05。使用反射仪应注意以下事项：

1）对于折射率低于1.80的宝石，不宜使用反射仪，尽量用折射仪来测定。

2）所测样品必须具有抛光良好的平面且大于测试孔，否则接收不到仪器信号或导致读数过低。

3）样品内部的包体的反光可导致读数出现偏差。

4）每个样品从多个方向测量，以保证结论的准确性。

5）样品表面要求洁净无污物，否则影响光的反射，导致结论错误。

6）可以将热导仪和反射仪结合使用。

另外，应特别注意合成碳硅石在空气或氧气中经高温处理后，表面可形成一层的二氧化硅薄膜，降低了合成碳硅石的反射率，使其在反射仪上的读数与钻石相似。

第二章　大型测试仪器在宝石学中的应用

现代高新科技的发展，促进了新的合成及人造宝石及优化处理宝石品种的相继面市。一些合成宝石与天然宝石之间的差别日趋缩小，一些优化处理宝石的表面及内部特征与天然宝石相差无几，使得宝玉石鉴定中的一些疑难、热点问题应运而生。一些传统、常规的宝石鉴定仪器及鉴定方法已难以满足珠宝鉴定的要求。

近年来，国外一些大型分析测试仪器的引进及应用，使我国珠宝鉴定与研究机构初步摆脱了过去那种单一的鉴定对比模式。迄今，珠宝鉴定工作者主要用它们来解决传统的检测仪器所无法解决的某些疑难问题。不容置疑，先进的分析测试技术在宝石学鉴定与研究领域中将发挥出愈来愈重要的作用。

第一节　X射线荧光光谱仪

自从1895年伦琴（Roentgen WC）发现X射线之后不久，莫斯莱（Moseley HG）于1913年发表了第一批X射线光谱数据，阐明了原子结构和X射线发射之间的关系，并验证出X射线波长与元素原子序数之间的数学关系，为X射线荧光分析奠定了基础。1948年由弗里特曼和伯克斯设计出第一台商业用波长色散X射线光谱仪。自20世纪60年代后，由于电子计算机技术、半导体探测技术和高真空技术日新月异，促使X射线荧光分析技术的进一步拓展。X荧光分析是一种快速、无损、多元素同时测定的现代测试技术，已广泛应用于宝石矿物、材料科学、地质研究、文物考古等诸多领域。

一、基本原理

X射线是一种波长($\lambda = 0.001 \sim 10$nm)很短的电磁波，其波长介于紫外线和γ射线之间。在高真空的X射线管内，当由几万伏高电压加速的一束高速运动的电子流投射到阳极金属靶（如钨靶、铜靶等）上时，电子的动能部分转变成X光辐射能，并以X射线形式辐射出来。从金属靶射出的X射线主要由两类波长、强度不等的X射线组成，即连续X射线谱及特征X射线谱。前者指在X射线波长范围内，由其短波限开始并包括各种X射线波长所组成的光谱。后者则指当加于X光管的高电压增至一定的临界数值时，使高速运动的电子动能足以激发靶原子的内层电子时，便产生几条具一定波长且强度很大的谱线，并叠加在连续X射线谱上，由特征X射线组成的光谱称为特征X射线谱。

特征X射线谱源自原子内层电子的跃迁。当高速运动的电子激发原子内层电子，而导致X射线的产生，这种X射线称为“初级X射线”。若以初级X射线为激发手段，用以照射宝石样品，会造成宝石的原子内的电子发生电离，使内层轨道的电子脱离原子，形成一个电子空位，原子处于“激发态”，这样外层电子就会自动向内层跃迁，填补内层电子空位，进而发射出一定能量的X射线。由于它的波长和能量与原来照射的X射线不同，即发出“次级X射线”。人们将这种由于X射线照射宝石而产生的次级X射线称X射线荧光。通常，X射线荧光只包含特征X射谱线，而缺乏连续X射线谱。

当能量高于原子内层电子结合能的高能X射线与原子发生碰撞时，驱逐一个内层电子而出现一个空穴，使整个原子体系处于不稳定的激发态，激发态原子寿命约为$10^{-12} \sim 10^{-14}$秒，

然后自发地由能量高的状态跃迁到能量低的状态。这个过程称为弛豫过程。弛豫过程既可以是非辐射跃迁，也可以是辐射跃迁。当较外层的电子跃迁到空穴时，所释放的能量随即在原子内部被吸收而逐出较外层的另一个次级光电子，此称为俄歇效应，亦称次级光电效应或无辐射效应，所逐出的次级光电子称为俄歇电子。它的能量是特征的，与入射辐射的能量无关。当较外层的电子跃入内层空穴所释放的能量不在原子内被吸收，而是以辐射形式放出，便产生X射线荧光，其能量等于两能级之间的能量差。因此，X射线荧光的能量或波长是特征性的，与元素有一一对应的关系。图2-2-1给出了X射线荧光和俄歇电子产生过程示意图。

K层电子被逐出后,其空穴可以被外层中任一电子所填充，从而可产生一系列的谱线，称为K系谱线。由L层跃迁到K层辐射的X射线叫K_α射线,由M层跃迁到K层辐射的X射线叫K_β射线。同样，L层电子被逐出可以产生L系辐射（见图2-2-2）。如果入射的X射线使某元素的K层电子激发成光电子后L层电子跃迁到K层，此时就有能量ΔE释放出来，且$\Delta E=E_K-E_L$，这个能量是以X射线形式释放，产生的就是K_α射线，同样还可以产生K_β射线、L系射线等。

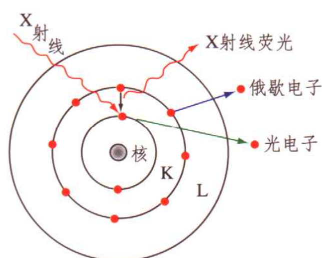


图2-2-1 X射线荧光和俄歇电子产生示意图

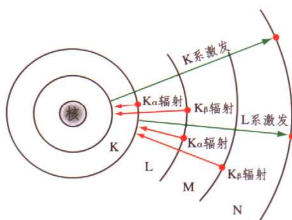


图2-2-2 产生K系和L系辐射示意图

莫斯莱（Moseley HG，1913）发现，X射线荧光的波长λ与元素的原子序数Z有关，随着元素的原子序数的增加，特征X射线有规律的向短波长方向移动。他根据这种谱线移动规律，建立了关于X射线波长与其元素原子序数的关系定律，其数学关系如下：

$$\lambda = K(Z - S)^{-2}$$

式中K和S是常数。因此,只要测出荧光X射线的波长,就可以知道元素的种类,这就是荧光X射线定性分析的基础。此外,荧光X射线的强度与相应元素的含量有一定的关系，据此，可以进行元素定量分析。

二、X射线荧光光谱仪

自然界中产出的宝石通常由一种元素或多种元素组成，用X射线照射宝石时，可激发出各种波长的荧光X射线。为了将混合在一起的X射线按波长（或能量）分开，并分别测量不同波长（或能量）的X射线的强度，以进行定性和定量分析，常采用两种分光技术。

其一是波长色散光谱仪。它是通过分光晶体对不同波长的X射线荧光进行衍射而达到分光的目的，然后用探测器探测不同波长处的X射线荧光强度，这项技术称为波长色散（WDX）X射线荧光光谱仪。波长色散X射线荧光光谱仪（见图2-2-3）主要由X射线发生器、分光系统（晶体分光器）、准直器、检测器、多道脉冲分析器及计算机组成。


图2-2-3 WDX1000
波长色散X射线荧光光谱仪

其二是能量色散X射线荧光光谱仪。它是利用荧光X射线具有不同能量的特点，将其分开并检测，不必使用分光晶体，而是依靠半导体探测器来完成。这种半导体探测器有锂漂移硅探测器、锂漂移锗探测器、高能锗探测器等。X光子射到探测器后形成一定数量的电子－空穴对，电子－空穴对在电场作用下形成电脉冲，脉冲幅度与X光子的能量成正比。在一段时间内，来自宝石的荧光X射线依次被半导体探测器检测，得到一系列幅度与光子能量成正比的脉冲，经放大器放大后送到多道脉冲分析器（通常要1000道以上）。按脉冲幅度的大小分别统计脉冲数，脉冲幅度可以用X光子的能量标度，从而得到计数率随光子能量变化的分布曲线，即X光能谱图。能谱图经计算机进行校正，然后显示出来，其形状与波谱类似，只是横坐标是光子的能量。能量色散的最大优点是可以同时测定样品中几乎所有的元素。因此，分析速度快。另一方面，由于能谱仪对X射线的总检测效率比波谱高，因此可以使用小功率X光管激发荧光X射线。另外，能谱仪没有光谱仪那么复杂的机械机构，因而工作稳定，仪器体积也小。缺点是能量分辨率差，探测器必须在低温下保存，对轻元素检测困难。能量色散X射线荧光光谱仪（见图2-2-4）主要由X射线发生器、检测器、放大器、多道脉冲分析器及计算机组成。



图2-2-4 能量色散X射线荧光光谱仪

近年来又发展以放射性同位素为激发源，如$_{26}Fe^{55}$、$_{48}Cd^{109}$、$_{94}Pu^{238}$、$_{95}Am^{241}$等，这些放射性同位素具有连续发射低能X射线的能力。不同的放射性同位素源可以提供不同特征能量的辐射。放射源激发的方法是：将很少量的放射性同位素物质固封在一个密封的铅罐中，留出孔径为几毫米或十几毫米的小孔，使X射线经过准直后照射被测宝石上。由于放射源激发具有单色性好、体积小且重量轻的特点，可制造成便携式仪器。但是放射源激发功率较低，荧光强度和测量灵敏度较低。

三、应用

由于X射线荧光光谱仪适用于各种宝石的无损测试，具有分析的元素范围广，从^{4}Be到^{92}U均可测定；荧光X射线谱线简单，相互干扰少，样品不必分离，分析方法比较简便；分析浓度范围较宽,从常量到微量都可分析（重元素的检测限可达10^{-6}量级，轻元素稍差）；分析快速、准确、无损等优点，近年来受到世界各大宝石研究所和宝石检测机构所重视并加以应用。

（一）鉴定宝石种属

自然界中，每种宝石具有其特定的化学成分，采用X射线荧光光谱仪可分析出所测宝石的化学元素和含量(定性—半定量)，从而达到鉴定宝石种属的目的。例如，图2-2-5显示马达加斯加粉红色绿柱石中含少量Cs、Rb等致色元素，故可确定其为铯绿柱石。

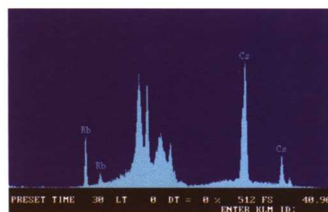


图2-2-5 铯绿柱石的能量色散X射线荧光光谱图

（二）区分某些合成和天然宝石

由于部分合成宝石生长的物化条件、生长环境、致色或杂质元素与天然宝石之间存在一定的差异，据此可作为鉴定依据。如早期的合成欧泊中有时含有天然欧泊中不存在的Zr元素；合成蓝色尖晶石中存在Co致色元素，而天然蓝色尖晶石中存在Fe杂质致色元素；采用焰熔

法合成的黄色蓝宝石中普遍含有天然黄色蓝宝石中缺乏的Ni杂质元素；合成钻石中有时存在Fe、Ni或Cu等触媒剂成分等。

（三）鉴别某些人工处理宝玉石

采用X射线荧光光谱仪有助于快速定性区分某些人工处理宝石。如近期珠宝市场上面市的Pb玻璃充填处理红宝石中普遍富含天然红宝石中几乎不存在的Pb杂质元素；同理，熔合再造处理翡翠中富含天然翡翠中不存在的Pb杂质元素；有些染色处理黑珍珠中富含Ag元素，如图2-2-6显示染色黑珍珠中染色剂为硝酸银化合物。

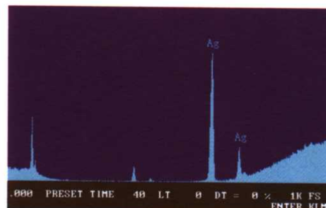


图2-2-6 染色黑珍珠的能量色散X射线荧光光谱图

第二节　电子探针

电子探针(EPMA)又称X射线显微分析仪（见图2-2-7）。它利用集束后的高能电子束轰击宝石样品表面，并在一个微米级的有限深度和侧向扩展的微区体积内激发，产生特征X射线、二次电子、背散射电子、阴极荧光等。现代的电子探针多数配有X射线能谱仪，根据不同X射线的分析方法（波谱仪或能谱仪），可定量或定性地分析物质的组成元素的化学成分、表面形貌及结构特征，为是一种有效、无损的宝石化学成分分析方法。



图2-2-7 R-1800型电子探针

一、基本原理

电子枪用以发射具有一定能量的电子束，通过轴对称电场或磁场构成的电子透镜调节电子束的束斑的强度与大小。扫描发生器按时间与空间的顺序，把电子束打到样品室内的宝石样品上，并随时收集所产生的二次电子。二次电子是电子束轰击到宝石时，逐出宝石样品浅表层原子的核外电子。由于一定能量的电子束所逐出的二次电子的激发效率和宝石样品元素的电离能以及电子束与宝石样品的夹角有关，因此根据二次电子的强度可作宝石样品的形貌分析。当电子束在宝石样品上扫描时与显示屏幕的扫描完全同步，即可保证宝石样品上的“物点”与显示屏幕上的“像点”在时间与空间上一一对应，于是在显示屏幕上就得到一个反映宝石样品表面形貌的放大图像。若利用分光晶体来测定所产生的特征X射线波谱或者利用半导体检测特征X射线能谱，即测得不同波长或者不同能量及与它们相对强度的信息，从而可获取微区的成分的定性、定量的结果。电子探针可视为一种试样的无损分析法。电子探针通常由电子枪、电子透镜、样品室、信号检测、显示系统及真空系统组成。

二、分析方法

1. 波谱仪（波长分散谱仪）

一般说来，入射电子束激发宝石产生的特征X射线是多波长的。波谱仪利用某些分光晶体对X射线的衍射作用来达到使不同波长分散的目的，通过测量对应某元素的适当谱线的X射线强度就可以得到这种元素的定量结果。为了排除谱波仪在检测不同元素谱线时条件不同所产生的影响，一般采用化学成分已知的标样进行标定。

2. 能谱仪（能量色散谱仪）

能谱仪与波谱仪不同，它是利用特征X射线的能量不同而进行展谱分析的方法，当高能电子束轰击宝石样品时，宝石样品中各种元素都被激发而放射出不同能量的X射线，能谱仪将这些X射线收集起来，按能量大小将其分类并快速显示出谱线再加以检测，从而进行定性、定量分析。

三、宝石学应用

1. 点分析

即对宝石表面或露出宝石表面的晶体包体选定微区作定点的全谱扫描，进行定量、定性或半定量分析。首先用同轴光学显微镜进行观察，将待分析的宝石样品微区移到视野中心，然后使聚焦电子束固定照射到该点上，这时驱动谱仪的晶体和检测器连续地改变 L 值，记录X射线信号强度 I 随波长的变化曲线。通过检查谱线强度峰值位置的波长，即可获得所测微区内含有元素的定性结果，测量对应某元素的适当谱线的X射线强度就可以得到这种元素的定量结果。图2-2-8为充填处理红宝石的电子探针能谱点分析的结果，显示充填物为铅玻璃。

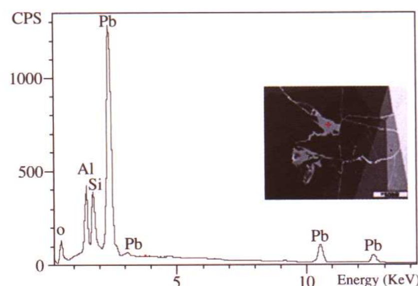


图2-2-8 铅玻璃充填处理红宝石的EPMA能谱点分析

2. 面扫描分析

聚焦电子束在宝石表面进行光栅式面扫描，将X射线谱仪调到只检测某一元素的特征X射线位置，用X射线检测器的输出脉冲信号控制同步扫描的显像扫描线亮度，在荧光屏上得到由许多亮点组成的图像。亮点就是该元素的所在处。根据图像上亮点的疏密程度就可确定某元素在试样表面上分布情况，将X射线谱仪调整到测定另一元素特征X射线位置时就可得到那一成分的面分布图像。电子探针面扫描分析有助于探讨宝石中化学元素在空间上的配比与分布规律（见图2-2-9）。

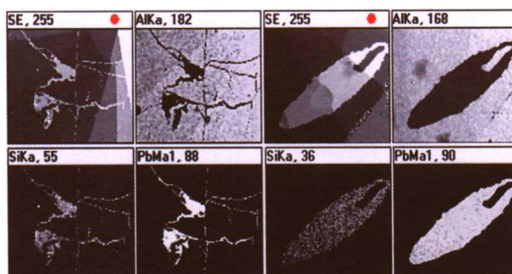


图2-2-9 铅玻璃充填处理红宝石的EPMA能谱面扫描分析

3. 线扫描分析

在光学显微镜的监视下，把样品要检测的方向调至 X 或 Y 方向，使聚焦电子束在宝石的生长环带或色带的扫描区域内沿一条直线进行慢扫描，同时用计数率计检测某一特征X射线的瞬时强度。若显像管射线束的横向扫描与试样上的线扫描同步，用计数率计的输出控制显像管射线束的纵向位置，这样就可以得到特征X射线强度沿试样扫描线的分布特征。EPMA线扫描分析有助于探讨宝石中化学元素在空间上的变化规律。图2-2-10为铍扩散处理橙红色蓝宝石的Fe、Ti、Cr的EPMA能谱线扫描分析结果。

4. 表面微形貌分析

二次电子是电子束轰击到试样时逐出样品浅表层原子的核外电子，由于一定能量的电子束所逐出的二次电子的激发效率和样品元素的电离能以及电子束与样品的夹角有关，因此根据二次电子的强度可作形貌分析。图 2-2-11 为翡翠中环带交代结构的 EPMA 二次电子像。

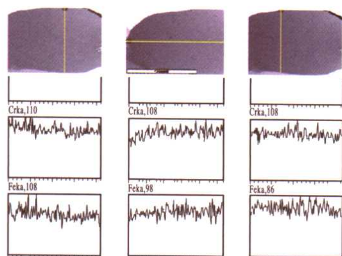


图 2-2-10 铍扩散处理橙红色蓝宝石的 EPMA 能谱线扫描分析

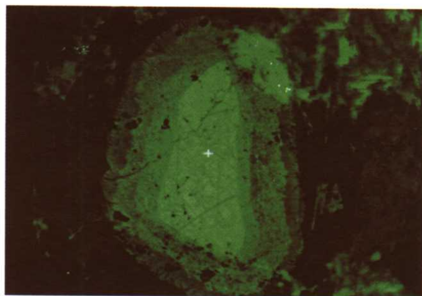


图 2-2-11 翡翠中环带交代结构的 EPMA 二次电子像

第三节　傅立叶变换红外光谱仪

宝石在红外光的照射下，引起晶格（分子）、络阴离子团和配位基的振动能级发生跃迁，并吸收相应的红外光而产生的光谱称为红外光谱。19 世纪初，人们通过实验证实了红外光的存在。20 世纪初，人们进一步系统地了解了不同官能团具有不同红外吸收频率这一事实。1950 年以后出现了自动记录式红外分光光度计。随着计算机科学的进步，1970 年以后出现了傅立叶变换红外光谱仪。近年来，红外测定技术如反射红外、显微红外、光声光谱以及色谱－红外联用等得到不断发展和完善，红外光谱法在宝石鉴定与研究领域得到了广泛的应用。

一、基本原理

能量在 4000～400cm^{-1} 的红外光不足以使样品产生分子电子能级的跃迁，而只是振动能级与转动能级的跃迁。由于每个振动能级的变化都伴随许多转动能级的变化，因此红外光谱属一种带状光谱。分子在振动和转动过程中，当分子振动伴随偶极矩改变时，分子内电荷分布变化会产生交变电场，当其频率与入射辐射电磁波频率相等时才会产生红外吸收。

红外光谱产生的条件：①辐射应具有能满足物质产生振动跃迁所需的能量；②辐射与物质间有相互偶合作用。例对称分子没有偶极矩，辐射不能引起共振，无红外活性，如 N_2、O_2、Cl_2 等。而非对称分子有偶极矩，具红外活性。

（一）多原子分子的振动

多原子分子由于原子数目增多，组成分子的键或基团和空间结构不同，其分子真实振动光谱比双原子分子要复杂，但在一定条件下作为很好的近似，分子一切可能的任意复杂的振动方式都可以看成是有限数量的且相互独立的和比较简单的振动方式的叠加，这些相对简单的振动称为简正振动。

（二）简正振动的基本形式

一般将简正振动形式分成两类：伸缩振动和弯曲振动（变形振动）。

1. 伸缩振动

指原子间的距离沿键轴方向发生周期性变化，而键角不变的振动称为伸缩振动，通常分为对称伸缩振动和不对称伸缩振动。对同一基团，不对称伸缩振动的频率要稍高于对称伸缩振动，而官能团的伸缩振动一般出现在高波数区。

2. 弯曲振动（又称变形振动）

指具有一个共有原子的两个化学键键角的变化，或与某一原子团内各原子间的相互运动无关的、原子团整体相对于分子内其他部分的运动。多表现为键角发生周期变化而键长不变。变形振动又分为面内变形和面外变形振动。面内变形振动又分为剪式和平面摇摆振动。面外变形振动又分为非平面摇摆和扭曲振动（见图 2-2-12）。

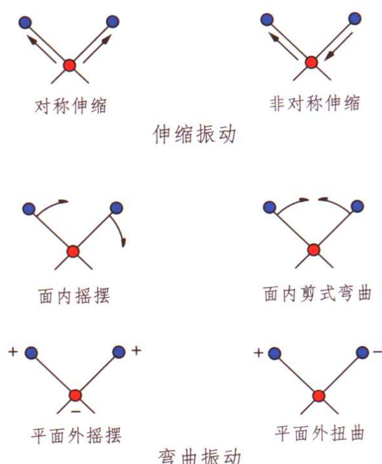


图 2-2-12 简正振动的基本形式
“+”表示运动方向垂直于纸面向里；
“−”表示运动方向垂直于纸面向外

（三）红外光区的划分

红外光谱位于可见光和微波区之间，即波长约为 0.78～1000μm 范围内的电磁波，通常将整个红外光区分为以下三个部分：

1. 远红外光区

波长范围为 25～1000μm，波数范围为 400～10cm^{-1}。该区的红外吸收谱带主要是由气体分子中的纯转动跃迁、振动－转动跃迁、液体和固体中重原子的伸缩振动、某些变角振动、骨架振动以及晶体中的晶格振动所引起的。在宝石学中应用极少。

2. 中红外光区

波长范围为 2.5～25μm，波数范围为 4000～400cm^{-1}。即振动光谱区。它涉及分子的基频振动，绝大多数宝石的基频吸收带出现在该区。基频振动是红外光谱中吸收最强的振动类型，在宝石学中应用极为广泛。通常将这个区间分为两个区域，即称基团频率区和指纹区。

基频振动区（又称官能团区），在 4000～1500cm^{-1} 区域出现的基团特征频率比较稳定，区内红外吸收谱带主要由伸缩振动产生。可利用这一区域特征的红外吸收谱带，去鉴别宝石中可能存在的官能团。

指纹区分布在 1500～400cm^{-1} 区域，除单键的伸缩振动外，还有因变形振动产生的红外吸收谱带。该区的振动与整个分子的结构有关，结构不同的分子显示不同的红外吸收谱带，所以这个区域称为指纹区，可以通过该区域的图谱来识别特定的分子结构。

3.近红外光区

波长范围为 0.78～2.5μm，波数范围为 12820～4000cm^{-1}，该区吸收谱带主要是由低能电子跃迁、含氢原子团（如 O—H、N—H、C—H）伸缩振动的倍频吸收所致。如绿柱石中 OH 的基频伸缩振动在 3650cm^{-1}，伸／弯振动合频在 5250cm^{-1}，一级倍频在 7210cm^{-1} 处。

二、仪器类型和测试方法

按分光原理，红外光谱仪可分为两大类：即色散型（单光束和双光束红外分光光度计）和

干涉型（傅立叶变换红外光谱仪）。色散型红外光谱仪的主要不足是自身局限性较大，扫描速度慢，灵敏度和分辨率低。目前在宝石测试与研究中，主要采用傅立叶变换红外光谱仪。

在傅立叶变换红外光谱仪中，首先是把光源发出的光经迈克尔逊干涉仪变成干涉光，再让干涉光照射样品。经检测器(探测器—放大器—滤波器)获得干涉图，由计算机将干涉图进行傅立叶变换得到光谱（见图2-2-13至2-2-15）。其特点是：扫描速度快，适合仪器联用；不需要分光，信号强，灵敏度高。



图2-2-13 傅立叶变换红外光谱仪

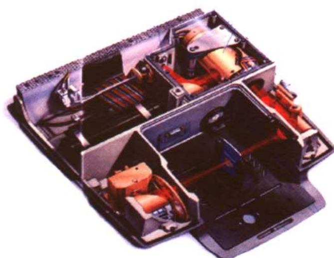


图2-2-14 傅立叶变换红外光谱仪内部结构

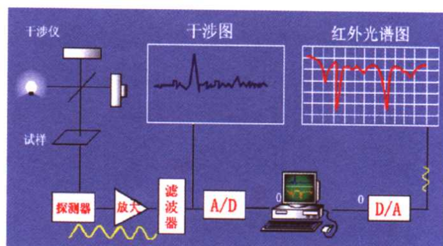


图2-2-15 傅立叶变换红外光谱仪工作原理示意图

用于宝石的红外吸收光谱的测试方法可分为两类，即透射法和反射法。

1. 透射法

透射法又可分为粉末透射法和直接透射法。粉末透射法属一种有损测试方法，具体方法是将样品研磨成2μm以下的粒径，用溴化钾以1∶100～1∶200的比例与样品混合并压制成薄片，即可测定宝石矿物的透射红外吸收光谱。直接透射法是将宝石样品直接置于样品台上，由于宝石样品厚度较大，表现出2000cm^{-1}以外波数范围的全吸收，因而难以得到宝石指纹区这一重要的信息。直接透射技术虽属无损测试方法（见图2-2-16），但从中获得有关宝玉石的结构信息十分有限，由此限制了红外吸收光谱的进一步应用。特别对于一些不透明宝玉石、图章石和底部包镶的宝玉石饰品进行鉴定时，则难以具体实施。

2. 反射法

红外反射光谱是红外光谱测试技术中一个重要的分支，目前在宝玉石的测试与研究中备受关注，根据采用的反射光的类型和附件分为：镜反射、漫反射、衰减全反射和红外显微镜反射法。红外反射光谱（镜、漫反射）在宝石鉴定与研究领域中具有较广阔的应用前景。根据透明或不透明宝石的红外反射光谱表征，有助于获取宝石矿物晶体结构中羟基、水分子的内、外振动，阴离子、络阴离子的伸缩或弯曲振动，分子基团结构单元及配位体对称性等重要的信息，特别是为某些充填处理的宝玉石中有机高分子充填材料的鉴定提供了一种便捷、准确、无损的测试方法（见图2-2-17）。

基于宝石样品的研究对比和鉴定之目的，可分别采用Nicolet550型傅立叶变换红外光谱仪及镜面反射附件和TENSOR-27型傅立叶变换红外光谱仪及“漫反射附件”。在具体测试过程中，视样品的具体情况，采用分段测试的方法（即分为4000～2000cm^{-1}，2000～400cm^{-1}）对相关的宝石样品进行测试。考虑到宝石的红外反射光谱中，由于折射率在红外光谱频率范

围的变化（异常色散作用）而导致红外反射谱带产生畸变（似微分谱形），要将这种畸变的红外反射光谱校正为正常的并为珠宝鉴定人员所熟悉的红外吸收光谱，可通过Dispersion校正或Kramers Kronig变换的程序予以消除 。具体方法为：若选用Nicolet550型红外光谱仪的镜面反射附件测得宝石红外反射光谱，则采用OMNIC软件内Process下拉菜单中Other Corrections里选择Dispersion进行校正；同理，若采用TENSOR-27型红外光谱仪的“漫反射附件”测得宝石的红外反射光谱，可用其OPUS软件内谱图处理下拉菜单中选择Kramers Kronig变换予以校正（简称K-K变换）。下文中，将经过Dispersion校正或K-K变换的红外反射光谱，统称为红外吸收光谱。

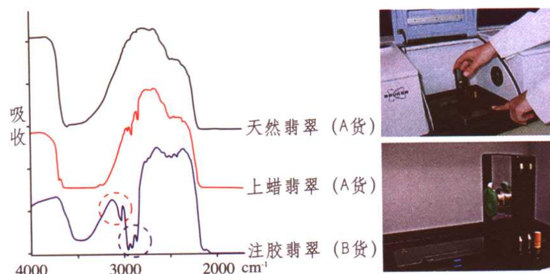


图2-2-16 充填处理翡翠红外吸收光谱（透射法）

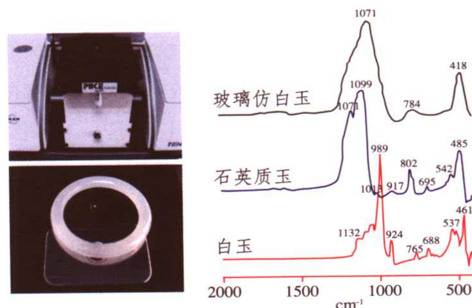


图2-2-17 白玉及其仿制品的红外吸收光谱（反射法，经K-K转换）

三、宝石学中的应用

红外吸收光谱是宝石分子结构的具体反映。通常，宝石内分子或官能团在红外吸收光谱中分别具自己特定的红外吸收区域，依据特征的红外吸收谱带的数目、波数位及位移、谱形及谱带强度、谱带分裂状态等项内容，有助于对宝石的红外吸收光谱进行定性表征，以期获得与宝石鉴定相关的重要信息。

1. 宝石中的羟基、水分子

基频振动（中红外区）作为红外吸收光谱中吸收最强的振动类型，在宝石学中的应用最为广泛。通常将中红外区分为基频区（又称官能团区，4000～1500cm^{-1}）和指纹区（1500～400cm^{-1}）两个区域。

自然界中，含羟基和H_2O的天然宝石居多，与之对应的伸缩振动导致的中红外吸收谱带主要集中分布在官能团区3800～3000cm^{-1}波数范围内。而弯曲振动导致的红外吸收谱带则变化较大，多数宝石的红外吸收谱带的位1400～17000cm^{-1}波数范围内。通常情况下，羟基或水分子的具体波数位置，亦受控于宝石中氢键力的大小。至于具体的波数位，则主要取决于各类宝石内的氢键力的大小。与结晶水或结构水相比，吸附水的对称和不对称伸缩振动导致的红外吸收宽谱带中心主要位3400cm^{-1}处。

例如，天然绿松石晶体结构中普遍存在结晶水和吸附水，其中由羟基伸缩振动致红外吸收锐谱带位于3466cm^{-1}、3510 cm^{-1}处，而由$v(M_{Fe,Cu}—OH)$伸缩振动 导致的红外吸收谱带则位于3293cm^{-1}、3076 cm^{-1}处，多呈较舒缓的宽谱态展布。同时，在指纹区内显示磷酸盐基团的伸缩与弯曲振动导致的红外吸收谱带。

反之在官能团区域内，吉尔森仿绿松石中明显缺乏天然绿松石所特有的由羟基和水分子伸缩振动致红外吸收谱带，同时显示由高分子聚合物中$v_{as}(CH_2)$不对称伸缩振动致红外吸收锐

谱带（2925cm^{-1}）、ν_s（CH_2）对称伸缩振动致红外吸收锐谱带（2853cm^{-1}），同时伴有ν_{as}（CH_3）不对称伸缩振动致红外吸收锐谱带(2959cm^{-1})。指纹区内，显示碳酸根基团振动的特征红外吸收谱带。测试结果表明，俗称吉尔森法绿松石实属压制碳酸盐仿绿松石。(见图 2-2-18)。

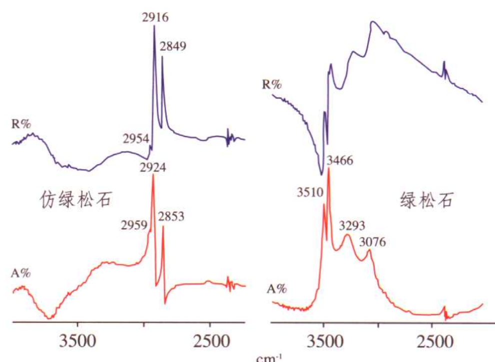


图 2-2-18 绿松石与仿绿松石的红外吸收光谱
（R% 为反射谱，A% 经 K-K 转换）

同理，根据助熔剂法合成祖母绿与水热法合成祖母绿的红外吸收光谱中有无水分子伸缩振动致吸收谱带而给予区分。助熔剂法合成祖母绿是在高温熔融条件下结晶而成，故其结构通道内一般不存在水分子；而水热法合成祖母绿是在水热条件下结晶生长而成，在其结构通道中往往存在不等量的水分子和少量氯酸根离子（矿化剂）。

2. 钻石中杂质原子的存在形式及类型划分

钻石主要由C原子组成，当其晶格中存在少量的N、B、H等杂质原子时，可使钻石的物理性质如颜色、导热性、导电性等发生明显的变化。基于红外吸收光谱表征，有助于确定杂质原子的成分及存在形式，并作为钻石分类的主要依据之一（见表 2-2-1）。

表 2-2-1 钻石的类型及红外吸收光谱特征

类型 / 依据	I 型					II 型	
	Ia				Ib	IIa	IIb
	含不等量的杂质氮原子，聚合态				单原子氮	基本不含杂质氮原子	含少量杂质硼原子
杂质原子存在形式	双原子氮	三原子氮	集合体氮	片晶氮	孤氮		分散的硼替代碳的位置
晶格缺陷心及亚类	N_2 IaA	N_3 IaAB	B_1 IaB	B_2 IaB	N		B
红外吸收谱带 /cm^{-1}	1282		1175	1365 1370	1130	1100～1400 范围内无吸收	2800

3. 人工充填处理宝玉石的鉴别

由两个或两个以上环氧基，并以脂肪族、脂环族或芳香族等官能团为骨架，通过与固化剂反应生成三维网状结构的聚合物类的环氧树脂，多以充填物的形式，广泛应用在人工充填处理翡翠、绿松石及祖母绿等宝玉石中。环氧树脂的种类很多，并且新品种仍不断出现。常见品种为环氧化聚烯烃、过醋酸环氧树脂、环氧烯烃聚合物、环氧氯丙烷树脂、双酚A树脂、环氧氯丙烷－双酚A缩聚物、双环氧氯丙烷树脂等。由图 2-2-16 可以看出，与蜡质物的红外吸收光谱表征明显不同的是，在充填处理翡翠中，环氧树脂中由苯环伸缩振动致红外吸收弱谱带位3028cm^{-1}处（图中蓝圈处）；与之对应由ν_{as}（CH_2）不对称伸缩振动致红外吸收谱带位2922cm^{-1}处，而ν_s（CH_2）对称伸缩振动致红外吸收锐谱带则位2850cm^{-1}处（图中红圈处）。

利用镜反射附件对底部封镶的天然翡翠饰品（如铁龙生）进行红外反射光谱测试时，要注意排除粘结在贵金属底托上的胶质物的干扰，因为贵金属底托起到背衬镜的作用，由此反射回的红外光一并穿透胶质物和未处理翡翠样品，有时易显示充填处理翡翠的红外吸收光谱特征。

图 2-2-19 为充填处理绿松石的红外吸收光谱。官能团区内，除绿松石中羟基、水分子伸缩振动致红外吸收谱带外，在2930cm^{-1}、2857cm^{-1}处显示由外来高分子聚合物中ν_{as}(CH_2)、

$v_s(CH_2)$ 的不对称和对称伸缩振动，其苯环伸缩振动致红外谱带多被 v（M—OH）吸收谱带所包络。

4. 相似宝石种类的鉴别

不同种属的宝石，在其晶体结构、分子配位基结构及化学成分上存在一定的差异，依据各类宝石特征的红外吸收光谱有助于鉴别之。日常检测过程中，检验人员时常会遇到一些不透明或表面抛光较差的翡翠及其相似玉石的鉴别难题，而红外反射光谱则提供了一个快速无损的测试手段。利用红外反射光谱指纹区内硬玉矿物中 Si—O_{nb} 伸缩振动和 Si—O_{br}—Si 及 O—Si—O 弯曲振动致红外吸收谱带（经K-K变换）的波数位置及位移、谱形及谱带强度、谱带分裂状态等特征，极易将它们区分开（见图 2-2-20）。

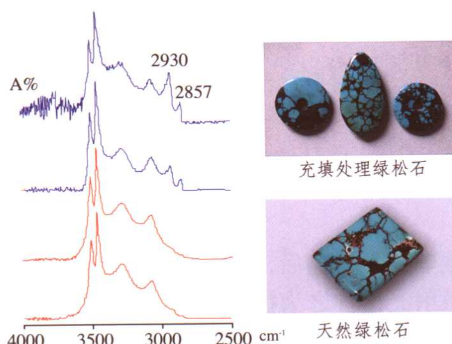


图2-2-19 绿松石与充填处理绿松石的红外吸收光谱(经 K-K 转换)

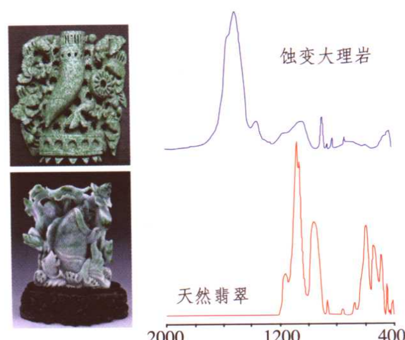


图2-2-20 天然翡翠与仿制品的红外吸收光谱(经 K-K 转换)

5. 仿古玉的红外吸收光谱

一些仿古玉器在制作过程中，常采用诸如强酸（如HF酸）腐蚀或高温烘烤等方法进行老化做旧处理。经上述方法处理的玉器表面或呈白（渣）化、或酸蚀残化（斑）、或呈牛毛网纹状，对其玉质的正确鉴别往往带来一定的难度。利用"漫反射红外附件"有助于对这类老化做旧处理玉器进行鉴别。图 2-2-21 显示，由指纹区内 Si—O、Si—O—Si 的伸缩振动和弯曲振动致红外吸收谱带，足以证实该玉器的主矿物成分为透闪石（标识为软玉）。

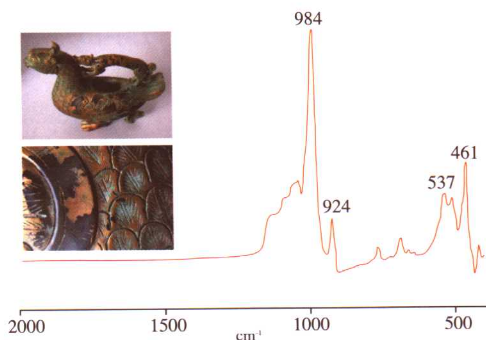


图 2-2-21 仿古玉制品的红外吸收光谱（经 K-K 转换）

第四节　激光拉曼光谱仪

1928年，印度物理学家拉曼（Raman CV）首次发现拉曼效应，由此获得诺贝尔物理学奖（1930）。20世纪60年代初，激光的问世，给拉曼光谱的产生提供了一种理想的单色光源。70年代后，单色仪、检测器、光学显微镜和计算机等新技术的发展，极大提高了激光拉曼光谱仪的测试性能。作为一种微区无损分析和红外吸收光谱的互补技术，拉曼光谱能迅速判断出宝石中分子振动的固有频率，判断分子的对称性、分子内部作用力的大小及一般分子动力学的性质，为宝石鉴定工作者提供了一种研究宝石中分子成分、分子配位体结构、分子基团结构单元、矿物中离子的有序—无序占位等快速、有效的检测手段（见图2-2-22）。



图2-2-22 激光拉曼光谱仪

一、基本原理

激光拉曼光谱是一种激光光子与宝石分子发生非弹性碰撞后，改变了原有入射频率的一种分子联合散射光谱，通常将这种非弹性碰撞的散射光谱称之为拉曼光谱。

激光光子和分子碰撞过程中，除了被分子吸收以外，还会发生散射。由于碰撞方式不同，光子和分子之间存在多种散射形式：

1. 弹性碰撞

光子和分子之间没有能量交换，仅改变了光子的运动方向，其散射频率等于入射频率，这种类型的散射在光谱上称为瑞利（Rayleigh）散射。

2. 非弹性碰撞

光子和分子之间在碰撞时发生了能量交换，即改变了光子的运动方向，也改变了能量，使散射频率和入射频率有所不同。此类散射在光谱上被称为拉曼（Raman）散射。

3. 拉曼散射的两种跃迁能量差

当散射光的频率低于入射光的频率，分子能量损失，这种类型的散射线称为斯托克斯（Stokes）线；若散射光的频率高于入射光的频率，分子能量增加，将这类散射线称之为反斯托克斯线。前者是分子吸收能量跃迁到较高能级，后者是分子放出能量跃迁到较低能级。

由于常温下分子通常都处在振动基态，所以拉曼散射中以斯托克斯线为主，反斯托克斯线的强度很低，一般很难观察到。斯托克斯线和反斯托克斯线统称为拉曼光谱。一般情况下，拉曼位移由宝石分子结构中的振动能级所决定，而与其辐射光源无关。

二、宝石学中的应用

1. 宝石中包体的成分及成因类型

宝石中包体的成分和性质对其成因、品种及产地的鉴别具有重要的意义。传统的固相矿物包体的鉴定与研究方法是将矿物包体抛磨至样品表面，尔后采用电子探针分析测试之。而对流体包体的研究则主要采用显微冷、热台去观察冷冻和加热过程中，流体包体内各物相的变化特征，测定均一温度、低共熔点温度及冷冻温度，最终通过相平衡数据去推断或计算流体包体的分子成分、密度、形成温度、压力及盐度等。上述方法均属破坏性测试，显然不适

于宝石鉴定与研究。

拉曼光谱具有分辨率和灵敏度较高且快速无损等优点，特别适于宝石内部1μm大小的单个流体包体（见图2-2-23）及各类固相矿物包体的鉴定与研究。例如，利用拉曼光谱对辽宁50号岩管金刚石包体的测试结果表明，该地区金刚石中常见的矿物包体类型为橄榄石、铬铁矿、铬镁铝榴石、镁铝榴石、金属硫化矿物、石墨及流体包体。

又如，利用拉曼光谱对桂林水热法合成黄色蓝宝石中流体包体进行了测试，确定液相中含有具鉴定意义的碳酸根（矿化剂）成分。再如，利用拉曼光谱对助熔剂合成红宝石和熔合处理红宝石进行了测试，确定助熔剂残余物（晶质体）和次生玻璃体（非晶体）的拉曼谱峰，前者在800～1000cm^{-1}范围内显示一组密集、相对计数强度较高的拉曼锐谱峰（见图2-2-24）。

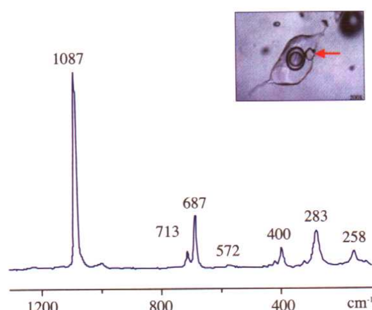


图2-2-23 绿柱石中流体包体的拉曼光谱，显示方解石子矿物

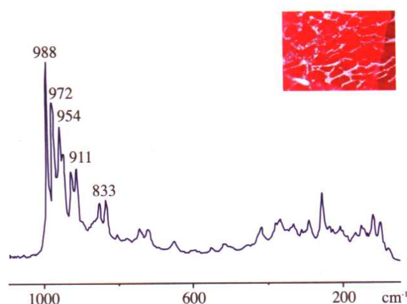


图2-2-24 合成红宝石中助熔剂残余的拉曼光谱

2. 人工处理宝石的鉴定

近年来，珠宝市场上面市的人工充填处理宝石类型多为人造树脂充填处理翡翠、祖母绿、绿松石和铅玻璃充填处理红宝石、钻石等。宝石裂隙中的各类充填物质给珠宝鉴定人员带来一定的困难，然而，利用拉曼光谱分析测试技术有助于正确地鉴别它们。

例充填处理翡翠中环氧树脂的拉曼谱峰具体表征为，由苯环伸缩振动致红外吸收弱谱带位于3069cm^{-1}处，与之对应由v_{as}（CH_2）不对称伸缩振动致红外吸收谱带位于2934cm^{-1}处，而v_s（CH_2）对称伸缩振动致红外吸收锐谱带则位于2873cm^{-1}处。利用拉曼光谱分析测试技术对染色处理黑珍珠和海水养殖黑珍珠的鉴定也获得满意的结果。

3. 相似宝玉石品种的鉴定

自然界中，分布最为广的硅酸盐类宝石的拉曼光谱主要由复杂的硅氧四面体组合基团或基团群的振动光谱组成，由于各硅酸盐类宝石中分子的基团的特征振动频率（Si—O伸缩振动、Si—O—Si和O—Si—O弯曲振动）存在明显的差异，导致各自拉曼光谱的表征不一。例如，利用拉曼光谱测试技术能有效地鉴别黑色翡翠及其相似玉种，如黑色角闪石质玉、黑色钠铬辉石质玉、黑色蛇纹石质玉及黑色软玉等黑色相似玉种。图2-2-25为摩西西玉的拉曼光谱，显示其矿物成分为钠长石、角闪石、铬硬玉、钠铬辉石及铬铁矿。

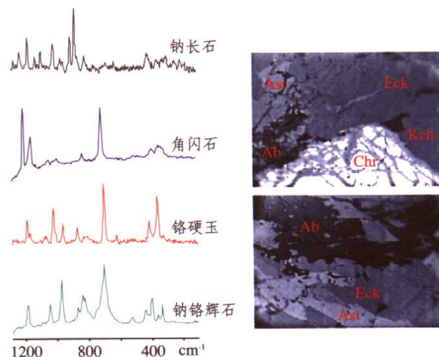


图2-2-25 摩西西玉的拉曼光谱

Ab.钠长石；Eck.角闪石；Ast.铬硬玉；Kch.钠铬辉石；Chr.铬铁矿

第五节　紫外—可见分光光度计

一、基本原理

紫外—可见吸收光谱是在电磁辐射作用下，由宝石中原子、离子、分子的价电子和分子轨道上的电子在电子能级间的跃迁而产生的一种分子吸收光谱。具不同晶体结构的各种彩色宝石，其内所含的致色杂质离子对不同波长的入射光具有不同程度的选择性吸收，由此构成测试基础。按所吸收光的波长区域不同，分为紫外分光光度法和可见分光光度法，合称为紫外—可见分光光度法。

在宝石晶体中，电子是处在不同的状态下，并且分布在不同的能级组中，若晶体中一个杂质离子的基态能级与激发态能级之间的能量差，恰好等于穿过晶体的单色光能量时，晶体便吸收该波长的单色光，使位于基态的一个电子跃迁到激发态能级上，结果在晶体的吸收光谱中产生一个吸收带，便形成紫外可见吸收光谱。宝石测试中常见三种紫外可见吸收光谱类型：

1. *d* 电子跃迁吸收光谱

过渡金属离子为 *d* 电子在不同 *d* 轨道能级间的跃迁，吸收紫外和可见光能量而形成紫外可见吸收光谱。这些吸收谱峰受配位场影响较大。*d*-*d* 跃迁光谱有一个重要特点，即配位体场的强度对 *d* 轨道能级分裂的大小影响很大，从而也就决定了光谱峰的位置。如红宝石、祖母绿的紫外可见吸收光谱。

2. *f* 电子跃迁吸收光谱

与过渡金属离子的吸收显著不同，镧系元素离子具有特征的吸收锐谱峰。这些锐谱峰的特征与线状光谱颇为相似。这是因为4*f*轨道属于较内层的轨道，由于外层轨道的屏蔽作用，使4*f*轨道上的*f*电子所产生的*f*-*f*跃迁吸收光谱受外界影响相对较小所致。如蓝绿色磷灰石、人造钇铝榴石（见图 2-2-26）、稀土红玻璃等。

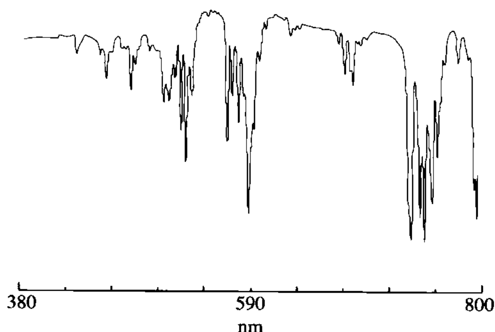


图 2-2-26　人造钇铝榴石的可见 / 近红外吸收光谱

3. 电荷转移（迁移）吸收光谱

在光能激发下，分子中原定域在金属 *M* 轨道上的电荷转移到配位体 *L* 的轨道，或朝相反方向转移。这种导致宝石中的电荷发生重新分布，使电荷从宝石中的一部分转移至另一部分而产生的吸收光谱称为电荷转移光谱。电荷转移所需的能量比 *d*-*d* 跃迁所需的能量多，因而吸收谱带多发生在紫外区或可见光区。如山东蓝宝石。

二、紫外—可见分光光度计的类型

紫外—可见分光光度计类型很多，但归纳为三种类型，即单光束分光光度计、双光束分光光度计和双波长分光光度计。以下仅介绍宝石测试中常用的双光束分光光度计（见图 2-2-27）。

经单色器分光后经反射镜分解为强度相等的两束光，一束通过参比池，一束通过样品池。光度计能自动比较两束光的强度，此比值即为试样的透射比，经对数变换将它转换成吸

光度并作为波长的函数记录下来。双光束分光光度计一般都能自动记录吸收光谱曲线。由于两束光同时分别通过参比池和样品池，还能自动消除光源强度变化所引起的误差。



图 2-2-27 紫外—可见分光光度计

三、测试方法

用于宝石的测试方法可分为两类，即直接透射法和反射法。

（一）直接透射法

将宝石样品的光面或戒面（让光束从宝石戒面的腰部一侧穿过）直接置于样品台上，获取天然宝石或某些人工处理宝石的紫外可见吸收光谱。直接透射法虽属无损测试方法，但从中获得有关宝玉石的相关信息十分有限，特别在遇到不透明宝石或底部包镶的宝石饰品时，则难以测其吸收光谱。由此限制了紫外可见吸收光谱的进一步应用。

（二）反射法

利用紫外—可见分光光度计的反射附件（如镜反射和积分球装置），有助于解决直接透射法在测试过程中所遇到的问题，由此拓展紫外可见吸收光谱的应用范围。

四、宝石学应用

1. 检测人工优化处理宝石

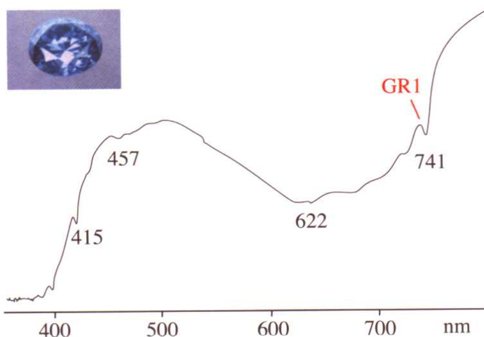


图 2-2-28 辐照处理钻石的可见吸收光谱

例如，利用直接透射法或反射法，能有效地区分天然蓝色钻石与人工辐照处理蓝色钻石。前者由杂质B原子致色，紫外可见吸收光谱表征为，从540nm至长波方向，可见吸收光谱的吸收率递增。后者则出现GR_1心/741nm（辐射损伤心），并伴有N_2+N_3/415nm（杂质N原子心）吸收光谱（见图 2-2-28）。

又例如，利用反射法，能有效地区分天然绿松石与人工染色处理绿松石，前者由Fe、Cu水合离子致色，在可见吸收光谱中显示宽缓的吸收谱带（Cu^{2+}: $^2E \rightarrow {}^2T_2$; Fe^{3+}: $^6A_1 \rightarrow {}^4E + {}^4A_1$），后者则无或微弱。

2. 区分某些天然与合成宝石

例如，水热法合成红色绿柱石显示特征的Co、Fe元素致可见吸收光谱。反之，天然红色绿柱石仅显示Fe及Mn元素致可见吸收光谱。

3. 探讨宝石呈色机理

例如山东黄色蓝宝石中Fe^{3+}为主要的致色离子，在其紫外可见吸收光谱中，$O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$电荷转移带尾部明显位移至可见光紫区内，并与$Fe^{3+}$晶体场谱带部分叠加。据此认为，山东黄色蓝宝石的颜色，主要归因为$O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$电荷转移与$Fe^{3+}$的d-d电子跃迁联合作用所致。

第六节 阴极发光仪

从阴极射线管发出具有较高能量的电子束激发宝石矿物的表面，使电能转化为光辐射而产生的发光现象，称之为阴极发光。阴极发光仪作为宝石的一种无损检测方法，近年来在宝石的测试与研究中得到了较广泛的应用。

一、基本原理

固体能带理论认为，宝石矿物的发光通常与其内所含的微量杂质原子（离子）或晶格缺陷有关。这些微量杂质原子（离子）或晶格缺陷在禁带中常形成一些分立（施主）能级。在阴极射线管发出具有较高能量的电子束激发下，其价带电子被激发到导带。此时，在价带中形成空穴（带正电荷），而导带中形成自由电子，分立能级中常由于微量杂质原子（离子）的替代而局部形成带正电中心（替代原子的价电子比主晶多，靠近导带的底部），或局部形成带负电中心（替代原子的价电子比主晶少，靠近价带的顶部）。

当价带中的电子受激发跃到导带，在导带中形成自由电子，在价带中形成自由空穴；而施主能级上的电子受激发跃到导带，成为自由电子。在热运动过程中，束缚在施主能级上的电子与价带中的自由空穴相遇而发生电子－空穴复合，能量转变为光子能量而发光，此时的施主能级便成为发光中心。不同种类的宝石矿物或相同种类、不同成因的宝石矿物在电子束激发下会发出不同颜色或不同强度的光。同时，一些与晶体生长环境相关的晶体结构或生长纹也可得以显示。

二、仪器的组成

阴极发光仪主要由真空系统、电子枪、控制系统和样品仓等部分组成，为了观察需要，还需配备体视显微镜（宝石显微镜）和照相系统等辅助设备（见图 2-2-29）。

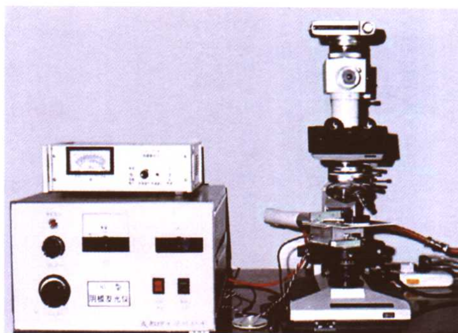


图 2-2-29 阴极发光仪

1. 真空系统(抽真空)

由旋转机械泵、扩散泵、离子泵、真空阀门和真空检测器组成，功能是为电子系统提供真空条件，以增强束电压和束电流的强度，同时也可防止样品室污染。

2. 电子枪

多为冷阴极式电子枪，用于发射直径为 2～20mm 大小的电子束，然后在 1～25kV 加速电压作用下可形成 100～5000μA 的束电流。

3. 控制系统

由真空检测、高压调节、电流强度调节、束斑聚焦调节等部分组成。用来控制束电压、电流强度和束斑焦点的大小，其功能是维持整个系统的正常工作状态。

4. 样品仓

用于放置样品并可以前后左右调节样品位置。

5. 显微镜和照相系统

用于观察现象及自动照相。

三、应用

近几年，阴极发光技术在宝石鉴定和研究领域的用途获得了很大发展。它不但可用来区分天然和合成钻石，还可用以鉴别天然与合成祖母绿、天然翡翠和处理翡翠及合成红、蓝宝石等。

1. 区分天然与合成红宝石

在电子束的激发下，焰熔法和晶体提拉法合成红宝石发很强的亮红色光，并显示特征的弧形生长纹结构（见图2-2-30）；水热法（泰罗斯）合成红宝石显示微波纹状生长纹结构（见图2-2-31）；反之，天然红宝石多发中等强度的深红色或紫红色光，并显示六方生长环带或角状生长带。

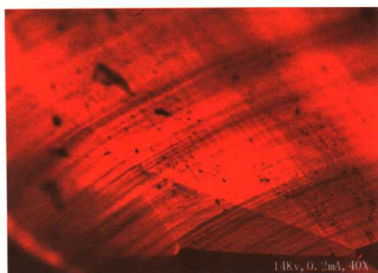


图2-2-30 合成红宝石（晶体提拉法）的阴极发光图显示弯曲生长纹理



图2-2-31 合成红宝石（水热法）的阴极发光图显示微波纹生长纹理

2. 区分天然与合成钻石

阴极发光技术最成功的应用就是能迅速有效地区分天然和合成钻石。由于生长环境的不同，天然钻石和合成钻石在生长结构上存在着显著的差异。通常情况下，首饰用的天然钻石晶体主要为八面体、菱形十二面体单形，合成钻石晶体则为相对复杂的由八面体、立方体、菱形十二面体和四角三八面体等单形组成的聚形。这样在合成钻石晶体中就形成多个生长分区，不同生长区的生长速度不等，且所含的杂质成分如(N)的含量也不尽相同，因而在阴极发光仪下显示与天然钻石截然不同的生长分区结构。

在电子束激发下，天然钻石多发出相对均匀的中强蓝色—灰蓝色光，并显示规则或不规则的生长环带结构（见图2-2-32）；由于合成钻石晶体多以聚形（八面体和立方体）为主，在不同的生长区则发出不同颜色的光，并显示几何对称的生长分区结构（见图2-2-33）。如{100}生长区发黄绿色光，分布于其中四个角顶，呈对称分布，为十字交叉状。籽晶幻影区发黄色光（或弱发光），位于晶体中心呈正方形。而{111}生长区呈环带分布。

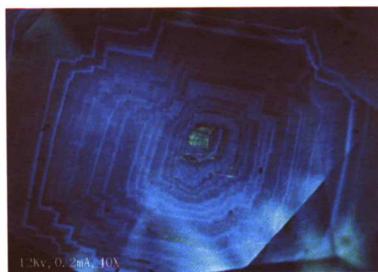


图2-2-32 天然钻石（⊥ L^4）的阴极发光图显示生长环带结构



图2-2-33 合成钻石（⊥ L^4）的阴极发光图显示几何对称的生长分区结构

3. 区分天然和处理翡翠

根据发光结构的不同，有助于区分天然翡翠和处理翡翠。在电子束的激发下，天然翡翠显粒状变晶发光结构（见图2-2-34），呈紧密镶嵌，晶粒发育较完整，偶显环带发光结构。部分具碎裂结构的天然翡翠中，其粒间似胶结物质（碎基）的发光强度远大于主晶。反之，充填处理翡翠呈典型的碎粒/充填发光结构，碎粒间隙充填物基本不发光（见图2-2-35）。



图2-2-34 天然翡翠的阴极发光图
显示粒状发光变晶结构



图2-2-35 处理翡翠的阴极发光图
显示碎粒/充填发光结构

第三篇 宝 石 各 论

第一章 常 见 宝 石

第一节 钻 石

钻石（Diamond）一词出自希腊语“Adamas”，意思是坚硬、不可驯服。钻石号称“宝石之王”，是世界上公认的最珍贵的宝石，也是最受人喜爱的宝石之一。钻石是四月的生辰石，也是结婚60周年的纪念石。

一、钻石的基本性质

（一）矿物名称

钻石的矿物名称是金刚石（Diamond）。在矿物学上属于金刚石族。

（二）化学成分和分类

1. 化学成分

钻石主要成分是C，其质量分数可达99.95%，微量元素有N、B、H、Si、Ca、Mg、Mn、Ti、Cr、S、惰性气体及稀土稀有元素，达50多种。这些微量元素决定了钻石的类型、颜色及物理性质。

2. 分类

钻石最常见的微量元素是N元素，N以类质同象形式替代C而进入晶格，N原子的含量和存在形式对钻石的性质有重要影响。同时也是钻石分类的依据。根据钻石内N原子在晶格中存在的不同形式及特征（见图3-1-1），可将钻石划分为如下类型（表3-1-1）。

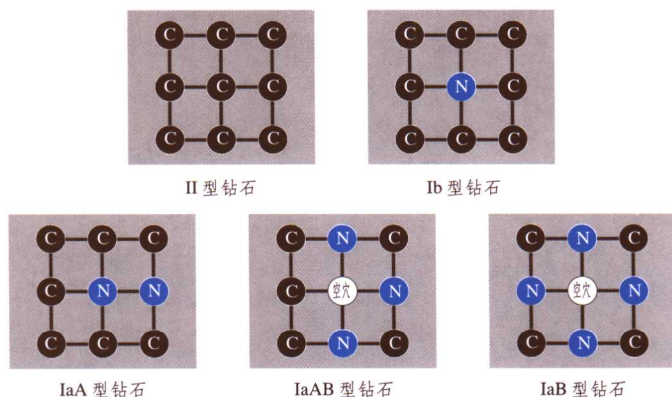


图3-1-1 N原子在钻石晶格中的存在形式

表 3-1-1 钻石分类及颜色特征

类型		氮原子存在形式	颜色特征
Ⅰ型（含N）	Ia 型	碳原子被氮取代，氮在晶格中呈聚合状不纯物存在	无色—黄色（一般天然黄色钻石均属此类型）
	Ib 型	碳原子被氮取代，氮在金刚石内呈单独不纯物存在	无色—黄色、棕色（几乎所有合成钻石及少量天然钻石）
Ⅱ型（不含N）	Ⅱa 型	不含氮，碳原子因位置错移造成缺陷	无色—棕色粉红色（极稀少）
	Ⅱb 型	含少量硼元素	蓝色（极稀少）

Ⅰ型钻石含N，最多时 w(N)可达0.25%。根据N在晶格中的存在方式，Ⅰ型钻石又可分为Ia型和Ib型。

Ia型钻石内N呈有规律的聚合状态，以2个N（又称为IaA型）、3个N（又称为IaAB型）、4~9个N甚至聚集成N的片状物存在（电子显微镜下可见）又称为IaB型，自然界中98%的钻石属于此类。

Ib型钻石内氮以孤立的原子状态取代晶格中的碳原子。天然Ib型钻石极少，主要见于合成钻石中。在一定的温度、压力及长时间的作用下，氮原子相互聚集Ib型钻石可转换为Ia型。因此，天然钻石以Ia型为主。

Ⅱ型钻石不含氮原子或 w(N)小于0.001%。

Ⅱa型钻石不含氮，内部几近纯净，具有极高的导热性。可因碳原子位错而造成缺陷而呈色，若不含空穴或晶格错位的Ⅱa型钻石是无色的，如著名的库里南钻石和塞拉里昂之星钻石就是其中的典型代表。

Ⅱb型钻石可含有少量的硼,硼以孤立的原子状态取代晶格中的碳原子。Ⅱb型钻石为半导体，是天然钻石中唯一能导电的。据此性质，可以区别天然蓝色钻石和辐照处理致色的蓝色钻石。大部分Ⅱb型钻石呈蓝色，少数为灰色，霍普钻石是最著名的Ⅱb型钻石。

（三）钻石的晶体结构和常见晶形

1. 结构

钻石是等轴晶系，具立方面心格子，C原子位于立方体角顶和面的中心以及其中4个相间排列的小立方体的中心。C原子配位数为4，具四面体状的sp^3型共价键（C－C间距为0.154nm）。

钻石的同质多象变体是石墨，属六方晶系，其晶体结构与钻石不同，具典型的层状结构，每层碳原子呈六方环状排列，层内碳原子以共价键－金属键相结合；层与层之间以分子键结合。由于钻石和石墨的结构不同，导致二者在晶体形态、物理化学性质等方面有很大的差异。钻石和石墨的结构见图3-1-2。

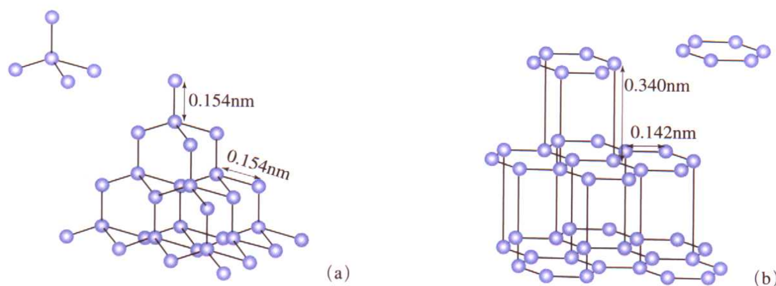


图 3-1-2 钻石（a）和石墨（b）的晶体结构示意图

2. 晶形

钻石常呈单晶，常见单形有八面体 o，菱形十二面体 d 和立方体 a，有时也呈聚形（见图 3-1-3）。有些黑色金刚石为多晶集合体。

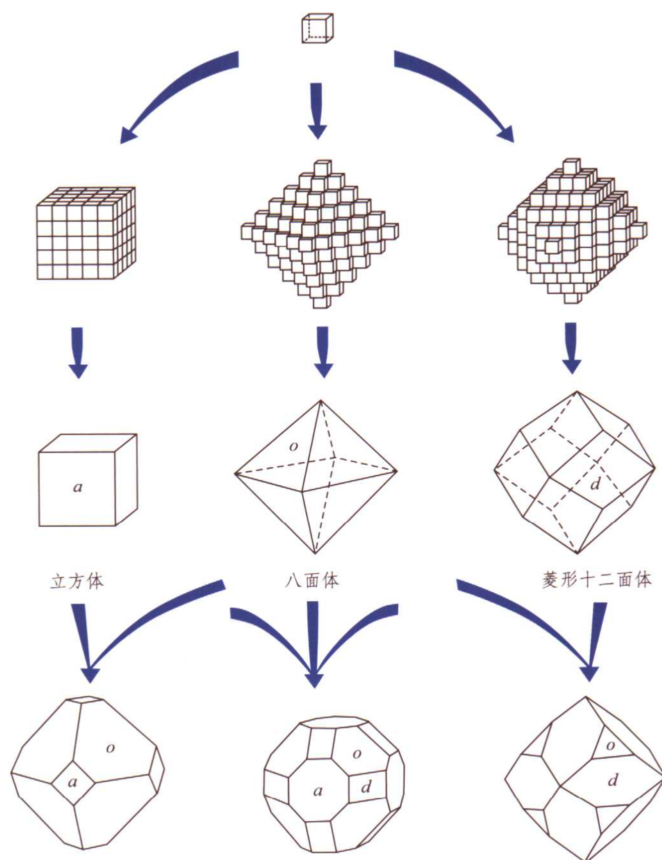


图 3-1-3 钻石的理想晶形（单形及其聚形）

自然界产出的钻石晶体通常为歪晶（见图 3-1-4），由于溶蚀作用使晶面棱线弯曲，晶面常留下蚀象，且不同单形晶面上的蚀象不同，八面体晶面上可见倒三角形凹坑，立方体晶面上可见四边形凹坑，菱形十二面体晶面上可见线理或显微圆盘状花纹（见图 3-1-12）。



图 3-1-4 钻石的实际晶形

（四）钻石的光学性质

1. 颜色

根据颜色钻石可分成两大类：无色—浅黄（褐、灰）色系列和彩色系列（见图3-1-5）。



图3-1-5 不同颜色的钻石

无色—浅黄（褐、灰）色系列：包括近无色到浅黄、浅褐、浅灰色。

彩色系列：包括黄色、褐色、红色、粉红色、蓝色、绿色、紫罗兰色、黑色等。大多数彩色钻石颜色发暗，强—中等饱和度的颜色艳丽的彩钻极为罕见。彩钻一是由于微量元素N、B和H原子进入钻石的晶体结构之中而产生的颜色；另一种原因是晶体塑性变形而产生位错、缺陷，对某些光能的吸收而使钻石呈现颜色，详见“第一篇第四章宝石的颜色”。

（1）无色钻石

无色钻石可以用能带理论解释其呈色机理。在无任何杂质的纯碳钻石晶体中，每个C原子以共价键与另外4个C原子连接，带隙能E_g=5.4eV，而可见光能量E_g < 3.5eV，不具有足够高的能量来激发价带中的电子，因而没有光波被吸收，钻石是无色透明的。

（2）黄色钻石

I型钻石多是无—浅黄—黄色系列，对于Ia型钻石可以用色心理论来解释其颜色成因；而Ib型钻石用能带理论可以做出更好的解释。

根据色心理论，Ia型钻石中不同聚合态形式的N可形成不同的结构缺陷，从而形成不同的色心，对可见光产生不同的吸收，钻石的颜色是由多个色心共同作用的结果。如果Ia型钻石中N以原子对形式（又称为IaA型）取代相邻C原子的位置，引起晶格畸变形成N_2心，造成了蓝区478nm、452nm、439nm的吸收；若N以3个原子围绕空穴组合在一起（又称为IaAB型），形成N_3心，造成了蓝紫区415nm以及423nm、435nm、465nm、475nm的吸收。由于N_3心、N_2心吸收了可见光中的紫光和蓝光，从而使钻石呈现黄色。

根据能带理论，Ib型钻石中，N原子比C原子结构多一个电子，这个多余电子在带隙内形成一个杂质能级，它的存在使带隙能降低2.2eV。所以只要大于2.2eV的任何光量子都能把多余电子激发到导带中，并由此引起紫光—蓝光范围内的光被吸收，其他光透过，钻石呈现黄色。合成钻石多属此类。

（3）蓝色钻石

IIb型钻石含有硼，B原子比C原子少一个电子，因此当B替代C进入钻石晶格时，就形成一个空穴色心。每100万个C原子中有一个或几个B原子时，它能把从红外至500nm（绿

光边缘）的光吸收，钻石可产生诱人的蓝色。

最新发现不含B、不导电的灰蓝色钻石，它们的晶体中含有H，因此普遍认为H的存在是导致灰色、灰蓝色钻石呈色的主要原因。

（4）粉色、褐色钻石

此类钻石的颜色与其形成环境及运移过程中发生的塑性变形（导致晶体结构缺陷）有关。在引起晶格缺陷的同时，还可改变钻石中N的聚集速率和形式，使钻石形成不同颜色，且钻石颜色的均匀程度也与塑性形变的均匀性有关。

（5）绿色钻石

绿色和蓝绿色钻石通常是由于长期天然辐射作用而形成的。当辐射线的能量高于晶体的阀值时，C原子被打入间隙位置，形成一系列空位－间隙原子对，使钻石的电子结构发生变化，从而产生一系列新的吸收，可使钻石呈绿色。若辐照时间足够长或辐照剂量足够大，可使钻石变成深绿色甚至黑色。辐射造成的晶格损伤有时还可形成蓝色钻石和黄褐色钻石。

（6）黑色钻石

黑色钻石的颜色可能因为其为多晶集合体、大量黑色内含物（石墨等）和裂隙造成的。

2. 光泽、透明度

钻石具有特征的金刚光泽，金刚光泽是天然无色透明矿物中最强的光泽。值得注意的是观察钻石光泽时要选择强度适中的光源，钻石表面要尽可能平滑，当钻石表面有熔蚀及风化特征时，钻石光泽将受到影响而显得暗淡。

纯净的钻石应该是透明的，但由于矿物包体、裂隙的存在，钻石可呈现半透明，甚至不透明。

3. 光性

钻石为均质体，偶见异常消光。

4. 折射率及色散

钻石的折射率为2.417，是天然无色透明矿物中折射率最大的矿物，所以抛光良好的钻石具有很强的光泽和亮度。

钻石的色散值为0.044，也是所有天然无色透明宝石中色散值最大的矿物。强的“火彩”为钻石增添了无穷的魅力，同时也是肉眼鉴定钻石的重要依据之一（见图3-1-6）。



图3-1-6 钻石的色散

5. 多色性

钻石属均质体矿物，无多色性。

6. 发光性

钻石的紫外荧光无至强，可呈蓝色、黄色、橙黄色、粉色、黄绿色等，一般长波下的荧光强度强于短波下的荧光强度。有些可见磷光。

钻石的荧光主要与晶格中的杂质元素N有关。由于N的存在，在晶体的导带和满带之间还出现了局部能级。当晶体受到紫外线照射时，这些较高的能量使晶体结构中原子或离子的外层电子发生跃迁，满带上的电子以及局部能级上的电子，均可受到激发而跃迁到较高能级的导带上，并在原先所在的能级上留下空位，然后较高能级上的电子可以回落到这些空位上，并释放出能量，使钻石发光，即产生荧光。根据N原子的聚合状态不同，所产生的荧光效应也有很大差别。

钻石荧光的颜色绝大部分（90%以上）为蓝白色，据研究主要与N_3心（即三个N原子的原子团）有关；单个N原子置换了钻石中的C原子会产生橙黄色荧光。

蓝白色荧光一般情况下会提高钻石的色级，但荧光过强，会有一种雾蒙蒙的感觉，影响钻石的透明度，降低钻石的净度（见图3-1-7）。

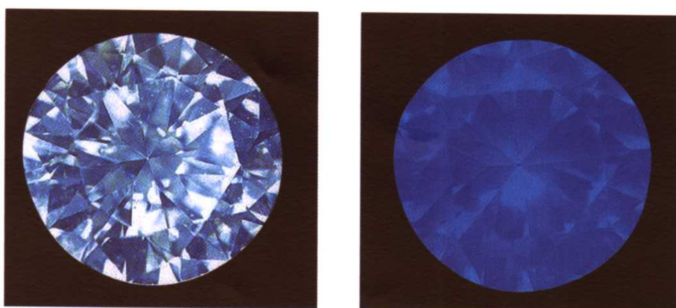


图3-1-7 强荧光的钻石在日光下（左）和荧光下（右）的颜色

另据报道，钻石荧光的颜色或强度不同，钻石的硬度也稍有差别。无荧光的钻石相对最硬，黄色荧光次之，发蓝白色荧光的钻石相对较软。

荧光只是一种发光现象，与放射性无关。荧光强的钻石在某些场合，可能会呈现出特殊的效果，使钻石更具独特魅力。

I型钻石以蓝色—浅蓝色荧光为主，Ⅱ型钻石以黄色、黄绿色荧光为主。

钻石在紫外线照射下并不是全部都有荧光，利用钻石是否有荧光以及荧光不同的颜色，可以区分钻石不同的磨削性。可以确定，在同等强度紫外线照射下，不发荧光的钻石最硬，发淡蓝色荧光的钻石硬度相对较低，发黄色荧光的居中。钻石磨制工作中，往往利用这一特性。

钻石在X射线的作用下大多数都能发荧光，而且荧光颜色一致，通常都是蓝白色，极少数无荧光。据此特征，常用X射线进行选矿工作，既敏感又精确。

钻石在阴极射线下发蓝色、绿色或黄色的荧光。

7. 吸收光谱

钻石可见415nm、453nm、478nm、594nm吸收线。无色—浅黄色的钻石，在紫区415nm处有一吸收谱带；褐—绿色钻石，在绿区504nm处有一条吸收窄带，有的钻石可能同时具有415nm和504nm处的两条吸收带（见图3-1-8）。

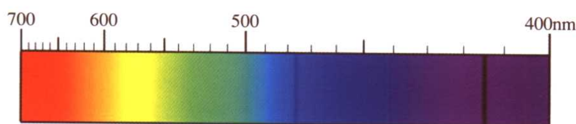


图3-1-8 钻石吸收光谱

（五）钻石的力学性质

1. 解理

钻石具有平行{111}方向的四组完全解理（见图3-1-9），所以抛光钻石在腰部常见“V”字形缺（破）口，该性质是鉴别钻石与其仿制品的重要特征之一。加工时劈开钻石正是利用这一特性。

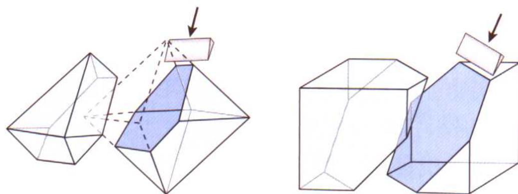


图3-1-9 钻石的解理

2. 硬度

钻石是自然界最硬的矿物，它的摩氏硬度为10。实际上在摩氏硬度表中，9级与10级的

级差是最大的，10级的钻石硬度是9级刚玉硬度的150倍，是7级石英硬度的1000倍。

钻石的硬度具有各向异性的特征，不同方向硬度不同：八面体方向＞菱形十二面体方向＞立方体方向的硬度。此外，无色透明钻石硬度比彩色钻石硬度略高。

切磨钻石时是利用钻石较硬的方向去磨另一颗钻石较软的方向，只有用钻石才能磨动钻石。

虽然钻石是世界上最硬的物质，但其解理发育、性脆，所以在成品钻石的鉴定中，禁止进行硬度测试，以免造成不可挽回的损失。

3. 密度

钻石的密度为3.52(±0.01)g/cm³，由于钻石成分单一，并且很纯，所以钻石的密度很稳定，变化不大，只有部分含杂质和包体较多的钻石，其密度才有微小的变化。钻石的这一特征在鉴定工作中也是非常重要的。

（六）内外部显微特征

钻石内主要矿物除金刚石本身以外，还有石墨、石榴石、单斜辉石、斜方辉石、硫化物、橄榄石、蓝晶石、刚玉、红柱石、柯石英、自然铁、镁方解石、铁方镁石、碳硅石、云母、长石、角闪石、钛铁矿、铬透辉石、绿泥石、锆石、透辉石等（见图3-1-10）。另外在显微观察中常可看到钻石的生长纹、解理（羽状纹）、色带等特征（详见钻石内外部特征）。



图3-1-10 钻石中包裹的镁铝榴石晶体

（七）热学性质

1. 导热性

钻石的热导率为870～2010w/(m·k)，导热性能超过金属，是导热性最高的物质。其中Ⅱa型钻石的导热性最好。这一性质在微电子领域具有广阔的应用前景。

2. 热膨胀性

钻石的热膨胀系数极低，温度的突然变化对钻石影响不大。但是钻石中若含有热膨胀性大于钻石的其他矿物包体或存在裂隙时不宜加热，否则会使钻石产生破裂。KM钻石的处理就是利用了这一特性。

3. 可燃性

可燃性是指物质在空气中能够燃烧的性质。钻石在绝氧条件下加热到1800℃以上时，将缓慢转变为石墨。在氧气中加热到650℃将开始缓慢燃烧并转变为二氧化碳气体。钻石的激光切割和打孔净度处理技术就是利用了钻石的低热膨胀性和可燃性。但对钻石首饰进行维修时，应避免灼伤钻石。

（八）电学性质

钻石中的C原子彼此以共价键结合，在结构中没有自由电子存在，因此大多数钻石是良好的绝缘体。钻石越纯净，其绝缘性越好，IIa型钻石的绝缘性最好。IIb型钻石含有微量元素B，B的存在产生了自由电子，使这一类型的钻石可以导电，是优质的高温半导体材料。钻石半导体的电阻值随温度变化特别灵敏，甚至连很微小的变化（±0.0024℃）都能在瞬间被记录下来，这一特点为把钻石应用于真空仪器和进行精密测温的仪器，开辟了广阔的前景。

合成钻石中如果含有大量的金属包体也可以导电。

（九）亲油斥水性

钻石对油脂有明显亲和力，这个性质在选矿中被用于回收钻石，在涂满油脂的传送带上将钻石从矿石中分选出来（见图3-1-11）。

钻石的斥水性是指钻石不能被湿润，水在钻石表面呈水珠状形不成水膜。该性质可用来鉴别钻石与其仿制品，但使用该方法前应仔细清洗宝石。



图3-1-11 在油脂带上分选钻石

（十）化学稳定性

钻石的化学性质非常稳定，在酸和碱中均不溶解，王水对它也不起作用，所以经常用硫酸来清洗钻石。但热的氧化剂却可以腐蚀钻石，在其表面形成蚀象。

二、钻石的鉴定

（一）钻石的肉眼鉴定

1. 毛坯的肉眼鉴定

钻石毛坯的肉眼鉴定应从以下几方面入手：

（1）观察光泽

由于钻石具有特殊的金刚光泽，是区别其他无色透明矿物（或材料）的重要特征。尽管目前一些人工材料在某些物化性质上很接近钻石，亦可具有较强的金刚光泽，但利用光泽特点可将钻石与其他仿制品区别开来。世界上许多著名钻石的发现，都因为其具有“亮晶晶”的外表，而显得格外与众不同。

观察钻石光泽时还要注意，由于一些钻石毛坯表面晶面花纹十分发育，影响光泽的观察，应尽量从光滑晶面处进行光泽的观察，避免产生错觉。

（2）观察钻石的外观形态和表面特征

在钻石毛坯中，发育良好的晶体占有相当的数量，通过观察晶体形态，也可帮助我们辨认钻石。钻石最常见的晶体形态是八面体、菱形十二面体及二者的聚形，在无色透明矿物中具有这几种晶形的矿物为数较少。即或是具备相似的形状，如无色的尖晶石、石榴石等，但由于其他的性质与钻石相去甚远亦可彼此区分。除了观察毛坯的晶体形态外，另一个特征是钻石的晶面花纹，钻石的不同晶面常常具有特征的生长纹（晶面花纹）如八面体晶面常见三角形生长纹（见图3-1-12），三角形的尖端指向八面体的晶棱；立方体晶面常具正方形或长方形生长纹，与立方体平面呈45°的夹角；菱形十二面体晶面则常见平行于长对角线方向的凹槽等，这些均可作为钻石的识别特征。

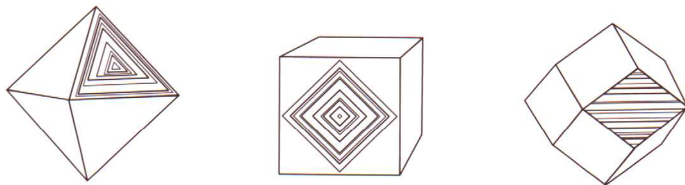


图3-1-12 钻石晶面上的生长纹

（3）估计钻石的密度

在所有与钻石的外观相似的天然矿物或人工材料中，除托帕石外，其他品种密度值均与钻石有一定的差别，用手掂量，感觉不同。可以“打手”的轻重感觉，来区分钻石及其仿制品。应该说明的是这种方法是在样品几乎相同大小的前提下才能使用，否则会造成谬误。这种方法最适同于区分相同大小的钻石和合成立方氧化锆，由于钻石的密度值为3.52g/cm³，而合成立方氧化锆的密度为5.95g/cm³左右，几乎是钻石的一倍，手掂的感觉明显不同，很易区分。

2. 抛光钻石的肉眼鉴定

（1）观察钻石的“火彩”

由于钻石的高折射率值和高色散值导致钻石具有一种特殊的“火彩”，特别是切割完美的钻石更具特征。有经验的人，即可通过识别这种特殊的“火彩”来区分钻石和仿制品，需要说明的是一些仿制品，如合成立方氧化锆、人造钛酸锶等，由于它们的某些物理性质参数比较接近钻石，亦可出现类似于钻石的“火彩”。仿制品所表现出的“火彩”不是太弱就是太强，在鉴定时应细心区别。

（2）线条试验

将样品台面向下放在一张有线条的纸上，如果是钻石则看不到纸上的线条，否则为钻石的仿制品。这是因为在一般情况下，钻石切工的设计就是让所有由冠部射入钻石内部的光线，通过折射与内反射，最后由冠部射出，几乎没有光能够通过亭部刻面，因此就看不到纸上线条（见图3-1-13）。但是应该注意的是，其他宝石通过特殊的设计加工，也都有可能达到同样的效果。

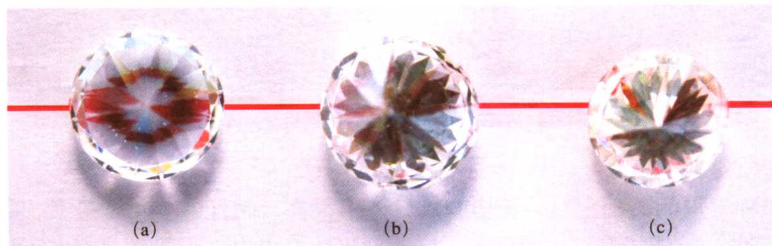


图3-1-13　线条试验

（a）合成立方氧化锆；（b）钻石；（c）合成碳硅石

（3）倾斜试验

将样品台面向上，置于黑色背景中，从垂直于台面方向开始观察，将样品从观察者处向外倾斜，观察台面离观察者最远的区域，如果出现一个暗窗，则说明该样品不是钻石。但合成立方氧化锆、人造钛酸锶等人工材料折射率很高，如果切割完美，亦有可能不出现暗窗，应注意加以区别。

（4）亲油性试验

天然钻石有较强的亲油性，当用油性笔在表面划过时可留下清晰而连续的线条，相反，当划过钻石仿制品表面时墨水常常会聚成一个个小液滴，不能出现连续的线条。

（5）托水性试验

充分清洗样品，将小水滴点在样品上，如果水滴能在样品的表面保持很长时间，则说明该样品为钻石，如果水滴很快散布开，则说明样品为钻石的仿制品。

（二）钻石的仪器鉴定

1. 放大观察

10 × 放大镜是鉴定钻石的一个很重要的工具，鉴定人员完全可以凭借10 × 放大镜来完成钻石的鉴定和进行 4C 分级。

显微镜与10 × 放大镜作用基本相同，所不同的是显微镜的视域、视景深和照明条件均优于放大镜。显微镜通常只在实验室中使用，对高净度级别的钻石，使用显微镜观察是十分必要的。

（1）观察内部特征

钻石为天然矿物，一般都带有矿物包体、生长结构等各种天然的信息，这是钻石与其他人工仿制品的根本区别。

（2）观察腰部特征

由于钻石硬度很大，在加工时绝大多数钻石的腰部不抛光而保留粗面。这种粗糙而均匀的面呈毛玻璃状，又称“砂糖状”。而钻石的仿制品由于硬度小，虽然腰部亦都不精抛光，但在粗面上仍可保留打磨时的痕迹，如可见平行排列的抛光磨痕等，此外，为了获得最大质量，天然钻石腰围及其附近常常保留原始晶面，在许多钻石的腰部都可发现三角形、阶梯状生长纹或原始晶面等，据此即可准确地判断钻石的真伪（见图 3-1-14）。

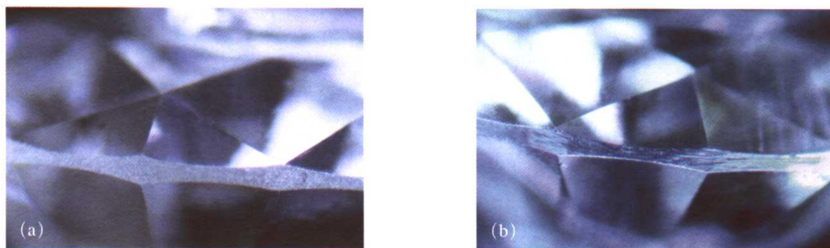


图 3-1-14 钻石（a）与仿钻石（b）的腰部特征对比

（3）切磨质量的观察

钻石是一种贵重的高档宝石，其切磨质量要求很高，而且由于硬度最大，所以通常成品钻石“面平棱直”，棱线锐利，比率适中，修饰度好，很少出现大量的“尖点不尖”、“尖点不齐”、“抛光纹”等现象。而钻石的仿制品相对价格低廉，硬度小，棱线呈圆滑状，在反射光下为一条亮线，切磨质量往往较低，很难与钻石相混（见图 3-1-15）。

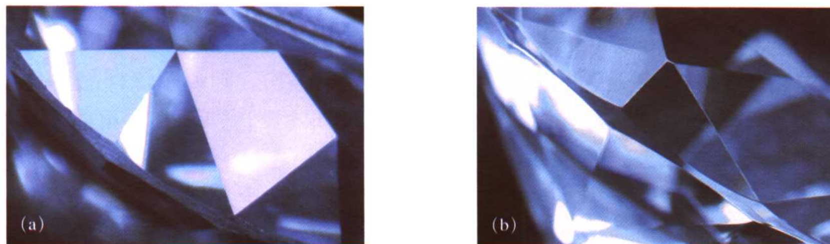


图 3-1-15 钻石（a）与仿钻石（b）切磨质量的对比

2. 密度的测量

对于未镶嵌的裸钻和毛坯，密度测量也是鉴别钻石真伪的有效手段，密度的测量可采用静水力学法，建议用四氯化碳或酒精作为介质，以使测量值更精确。

3. 分光镜及分光光度计

天然产出的钻石绝大多数是Ia型（约占98%），由N致色，这类钻石在415nm处有一吸收线，因此，使用分光镜观测415nm吸收线对于钻石的鉴定，特别是对于区分钻石与合成钻石十分有效。由于415nm吸收线位于紫区，普通的分光镜分辨率较低，又靠近谱图端缘，所以不易被观察到。随着科技的不断发展，人们已能够采用U-V分光光度计并应用低温技术准确测量钻石的吸收光谱。1996年De Beers的研究部门推出的DiamondSure仪器，用于天然钻石和合成钻石的鉴别，该仪器采用分光光度计的原理，专门测量样品是否具有415nm吸收线，如再配合使用另种名为DiamondView的仪器，通过观察钻石在短波紫外光下的荧光发光特点，可以准确地鉴别天然与合成钻石。

三、合成钻石、优化处理钻石及钻石仿制品

（一）合成钻石

1. 合成钻石的历史与方法

1953年人工合成钻石首次在瑞士ASEA公司试制获得成功，随后1954年美国通用公司合成钻石成功。1970年美国GE公司首次合成出宝石级钻石，但其颜色呈黄色，1988年英国戴比尔斯公司人工合成了重达14ct浅黄色、大颗粒、透明的宝石级金刚石呈八面体歪晶。到目前为止，已知人工合成金刚石的方法有三种：

（1）静压法　包括静压触媒法、静压直接转变法、晶体触媒法；

（2）动力法　包括爆炸法、液中放电法、直接转变六方钻石法；

（3）在亚稳定区域内生长钻石的方法　包括气相法、液相外延生长法、气液固相外延生长法、常压高温合成法。

目前，合成宝石级钻石主要方法是静压法（属于高温超高压法，又称为HTHP法，可分为BELT法和BARS法）和化学气相沉淀法（CVD法）。

2. 高温高压（HTHP）合成钻石的鉴定

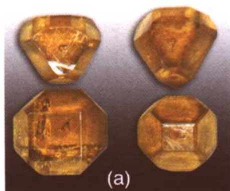
宝石级合成钻石主要采用BARS压力机生产，该方法成本低、体积小，但每次只能合成一颗钻石。BELT压带机体积大、成本高，一次可合成多颗钻石，多用于生产工业钻石。目前首饰用合成钻石的主要生产国有俄罗斯、乌克兰、美国等国家。

HTHP合成钻石其主要物理、化学性质与天然钻石类似，其主要区别在于：

（1）颜色

大多数HTHP合成钻石以黄色、桔黄色、褐色为主，价格很有竞争力，可以作为同种天然彩钻的替代品。而蓝色和近无色等颜色的合成钻石由于技术难度大，成本高而极难见到。

（2）晶形及晶面特征



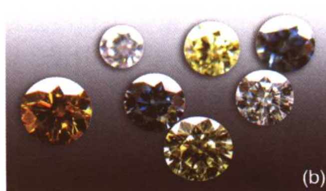


图3-1-16 HTHP合成钻石晶体（a）及成品（b）

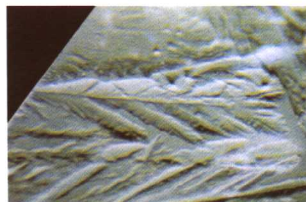


图3-1-17 HTHP合成钻石表面特征

合成钻石的晶形多为八面体{111}与立方体{100}的聚形，晶形完整（见图3-1-16）。晶面上

常出现不同于天然钻石表面特征的树枝状、蕨叶状、阶梯状等图案（见图3-1-17），并常可见种晶（见图3-1-18）。由于在合成钻石中形成多种生长区，不同生长区中所含氮和其他杂质含量不同，会导致折射率的轻微变化，在显微镜下可观察到生长纹理及不同生长区的颜色差异。

（3）内部显微特征

HTHP合成钻石内常可见到细小的铁或镍铁合金触媒金属包体。这些包体呈长圆型、角状、棒状平行晶棱或沿内部生长区分界线定向排列，或呈十分细小的微粒状散布于整个晶体中，在反光条件下这些金属包体可见金属光泽（见图3-1-19、图3-1-20），因此部分合成钻石可具有磁性，另可见不规则状的颜色分带、沙漏形色带等。净度以P、SI级为主，个别可达VS级甚至VVS级。

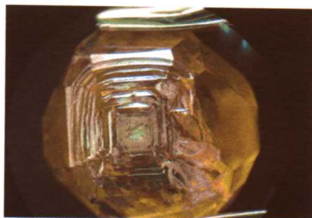


图3-1-18 HTHP合成钻石中的种晶

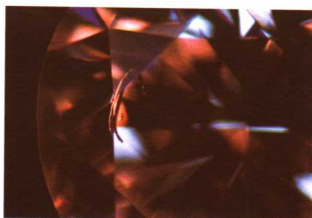


图3-1-19 HTHP合成钻石中弯曲的金属包体

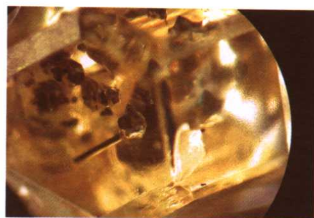


图3-1-20 HTHP合成钻石中的角粒状、棒状金属包体

（4）吸收光谱

无色—浅黄色天然钻石具Cape线，即在415nm、452nm、465nm和478nm的吸收线，特别是415nm吸收线的存在是指示无色—浅黄色钻石为天然钻石的确切证据。合成钻石则缺失415nm吸收线。

（5）异常双折射

在正交偏光下观察，天然钻石常具弱到强的异常双折射，干涉色颜色多样，多种干涉色聚集形成镶嵌图案。而HTHP合成钻石异常双折射很弱，干涉色变化不明显。

（6）紫外荧光特性

HTHP合成钻石在长波紫外线下荧光常呈惰性，而在短波紫外光下因受自身不同生长区的限制，其发光性具有明显的分带现象，为无至中的淡黄色、橙黄色、绿黄色不均匀的荧光，局部可有磷光。

（7）阴极发光

HTHP合成钻石的不同生长区因所接受的杂质成分（如N）的含量不同，而导致在阴极发光下显示不同颜色和不同生长纹等特征。这些生长结构的差别导致天然钻石和合成钻石在阴极发光下具有截然不同的特征。

发光性。天然钻石通常显示相对均匀的蓝色—灰蓝色荧光，有些情况下可见小块黄色和蓝白发光区，但这些发光区形态极不规则，不受某个生长区控制，分布也无规律性。合成钻石不同的生长区发出不同颜色的光，且具有规则的几何图形，受生长区控制（见图3-1-21）。八面体生长区发黄绿色光，分布于晶体四个角顶，对称分布，呈十字交叉状；立方体生长区发黄色光，位于晶体中心（即八面体区十字交叉点）呈正方形；菱形十二面体生长区位于相邻八面体与立方体生长区之间，呈蓝色的长方形。由于合成钻石以八面体和立方体晶面为主，所以在电子束轰击下合成钻石通常显示占绝对优势的黄—黄绿色光（与天然钻石的蓝色调形成鲜明对比）。

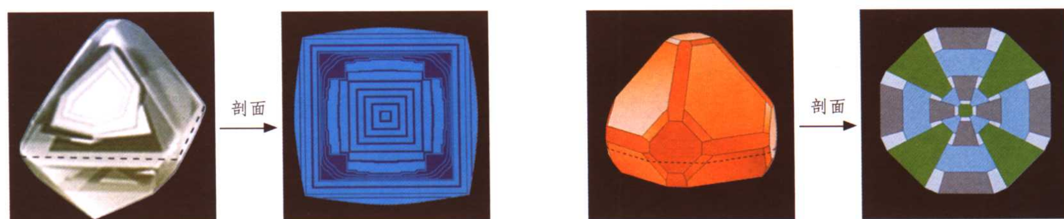


图3-1-21 天然钻石（左）与合成钻石（右）的阴极发光图

生长纹。天然钻石的生长纹不发育，如果出现的话，通常表现为长方形或规则的环状（极少数情况下，生长纹非常复杂）。HTHP合成钻石生长纹发育，但生长纹的特征因生长区而异，八面体生长区通常发育平直的生长纹，并可有褐红色针状包体伴生（仅在阴极发光下可见）；立方体生长区没有生长纹，但有时见黑十字包体；四角三八面体生长区边部发育平直生长纹。

3. CVD合成钻石的鉴别

CVD钻石合成技术出现于1952年，方法有微波等离子法、热丝法、火焰法、等离子喷射法等。在低压环境下可以在硅或金属基底上合成多晶CVD钻石材料（在工业上应用广泛），也可以在单晶钻石基底上合成单晶CVD钻石。

CVD合成钻石的鉴别可从结晶习性、内含物、异常双折射、色带等几个方面进行鉴别。

1）结晶习性　CVD合成钻石呈板状，{111}和{110}面不发育，见图3-1-22（a）；而HTHP合成钻石则{111}和{100}面发育；天然钻石常呈八面体晶形或菱形十二面体及其聚形，晶面有溶蚀现象。

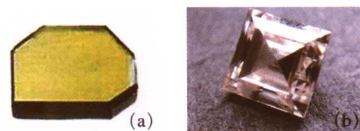


图3-1-22 CVD合成钻石的原石（a）及成品（b）

2）颜色　多为暗褐色和浅褐色，也可以生长近无色和蓝色的产品，但非常困难，见图3-1-22（b）。

3）放大检查可见不规则深色包体（见图3-1-23）和点状包体（见图3-1-24）。可有平行的生长色带。

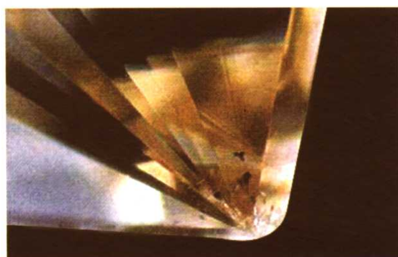


图3-1-23 CVD合成钻石中的不规则深色包体



图3-1-24 CVD合成钻石中的点状包体

4）正交偏光下CVD合成钻石在有强烈的异常消光，不同方向上的消光也有所不同。

5）在长短波紫外线的照射下，CVD合成钻石通常有弱的橘黄色荧光。另外还可根据红外光谱、X射线形貌图、DiamondSure、DiamondPlus等仪器进行鉴别。

（二）钻石的优化处理

由于钻石的珍贵、稀有，远远不能满足人类的需要，因此人们一方面进行人工合成钻石的研究，另一方面千方百计地优化处理钻石，这包括两方面，一是对钻石中的包体加以处理以提高钻石净度，二是改善钻石的颜色。具体处理方法有以下几种。

1. 颜色优化处理

（1）传统的颜色优化处理的方法

为了改善钻石的颜色，很古老的处理方法是在钻石表面涂上薄薄一层带蓝色的、折射率很高的物质，这样可使钻石颜色提高1～2个级别，更有甚者在钻石表面涂上墨水、油彩、指甲油等，以便提高钻石颜色的级别，也有的在钻戒底托上加上金属箔。这些方法很原始，也极容易鉴别。

（2）辐照改色钻石及其鉴定

物理改色法，也就是用放射照射的方法来改变钻石的颜色，可称为永久性改色法。利用辐照可以产生不同的色心，从而改变钻石的颜色，辐照钻石几乎可以呈任何颜色。如用中子进行辐射，褐色钻石可改变为美丽的天蓝色、绿色。值得注意的是这种辐射改色方法只适用于有色而且颜色不好的钻石。作为K色级以上的钻石，要想用此方法提高颜色的级别是办不到的。

辅照改色钻石的鉴定可从以下三方面进行：

颜色分布特征　天然致色的彩色钻石，其色带为直线状或三角形状，色带与晶面平行。而人工辐照改色钻石颜色仅限于刻面宝石的表面，其色带分布位置及形状与琢形形状及辐照方向有关。当来自回旋加速器的亚原子粒子，从亭部方向对圆多面型钻石进行轰击时，透过台面可以看到辐照形成的颜色呈伞状围绕亭部分布（见图3-1-25）。在上述条件下，阶梯形琢形的钻石仅能显示出靠近底尖的长方形色带。当轰击来自钻石的冠部时，则琢型钻石的腰棱处将显示一深色色环。当轰击来自钻石琢形侧面时，则琢型靠近轰击源一侧颜色明显加深。

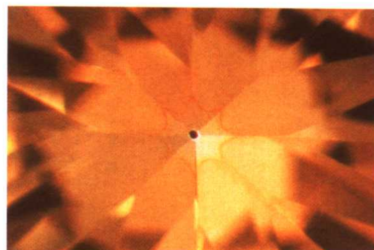


图3-1-25 辐照钻石的颜色呈伞状围绕亭部分布

吸收光谱　原本含氮的无色钻石经辐照和加热处理后可产生黄色。据认为这种黄颜色是由H_3和H_4色心引起的，且以H_4色心占优势，而天然黄色钻石没有H_3或H_4色心不明显，在吸收光谱中（见图3-1-26），由H_4色心引起的吸收线的存在被认为是钻石经辐照的证据。但H_4色心的缺失并不说明钻石颜色就一定是天然的。另外经辐照而成的黄色钻石还可存在

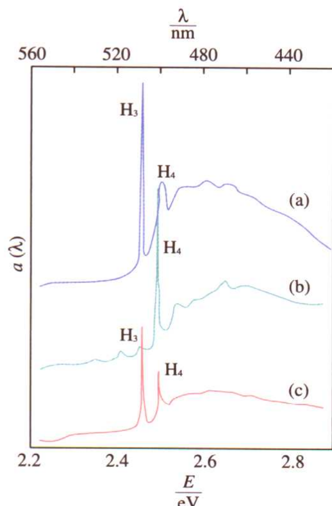


图3-1-26 钻石的吸收光谱

(a) 天然钻石带有H_3色心的吸收光谱；
(b) 经过处理的钻石，其H_4色心明显占优势；
(c) 天然钻石具H_3色心和H_4色心的吸收光谱
（在100K下测得，据A T Collins，1982）

595nm 的吸收线，但是在样品辐照后再次加热的过程中，随着温度的不断上升，595nm 吸收线将消失，与此同时在红外光谱区将出现 H_1b 和 H_1c 线。从目前的技术看，不可能做到既无 595nm 吸收线，又无 H_1b 和 H_1c 吸收线的辐照钻石，因此 595nm 或 H_1b 和 H_1c 线的出现，将是辐照钻石的鉴定依据。

导电性。天然蓝色钻石由于含微量元素 B 而具有导电性，而辐照而成的蓝色钻石则不具导电性。

(3) GE 钻石

GE钻石为一种新的颜色优化处理的方法。1998年，美国通用电器公司（GE）采用高温高压（HTHP）的方法将比较少见的IIa型褐色的钻石（其数量不到世界钻石总量的1%）处理成无色的钻石（见图 3-1-27），偶尔可出现淡粉色或淡蓝色，该类型又称为高温高压修复型。

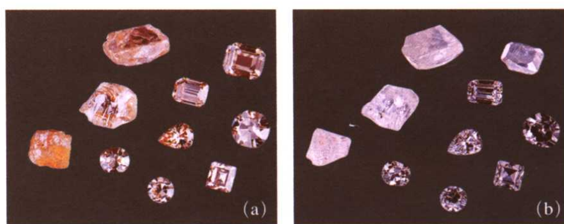


图 3-1-27 GE 钻石

(a) 处理前；(b) 处理后

这些高净度的褐色到灰色钻石，经过处理后的颜色大都在 D 到 G 的范围内，但稍具雾状外观，带褐或灰色调而不是黄色调。GE 钻石在高倍放大下可见内部纹理（见图 3-1-28）、常见羽毛状裂隙，并伴有反光，裂隙常出露到钻石表面、部分愈合的裂隙、解理以及形状异常的包体（见图 3-1-29）。一些经处理的钻石还在正交偏光下显示异常明显的应变消光效应（见图 3-1-30）。这种方法处理的钻石鉴定起来比较难，通用电气公司曾承诺由他们处理的钻石在腰棱表面用激光刻上 “GE POL” 或 “Bellataire” 字样（见图 3-1-31）。



图 3-1-28 GE 钻石的棕色内部纹理



图 3-1-29 GE 钻石中的羽毛状裂隙

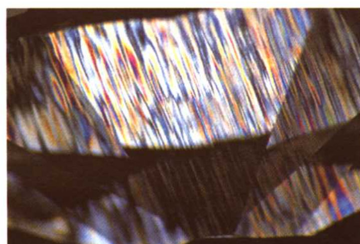


图 3-1-30 GE 钻石的条纹状异常消光



图 3-1-31 GE POL 钻石

(4) Nova 钻石

Nova 钻石是另外一种新的颜色优化处理的方法。1999 年美国诺瓦公司（NovaDiamond）采用高温高压（HTHP）的方法将常见的 Ia 型褐色钻石处理成鲜艳的黄色—绿色钻石，该

类型钻石又称为高温高压增强型或诺瓦（Nova）钻石（见图3-1-32）。

该类型钻石发生强的塑性变形，异常消光强烈，显示强黄绿色荧光并伴有白垩状荧光。实验室内通过大型仪器的谱学研究，可把Nova钻石和天然钻石区分开。这些钻石刻有Nova钻石的标识，并附有唯一的序号和证书。

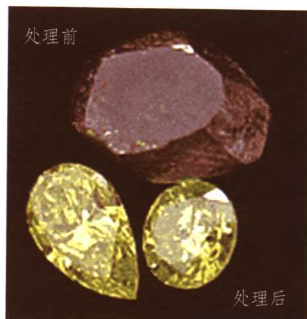


图3-1-32 处理前后的Nova钻石

2. 净度处理

（1）激光打孔

1）传统的激光打孔处理技术　传统的外部激光打孔处理技术在20世纪60年代引入。当钻石中含有固态包体，特别是有色和黑色包体时，会大大影响钻石的净度。根据钻石的可燃烧性，可以利用激光技术在高温下对钻石进行激光打孔，然后用化学药品沿孔道灌入，将钻石中的有色包体溶解清除，并充填玻璃或其他无色透明的物质。激光打孔处理的钻石，由于在钻石表面留下永久性的激光孔眼，而且因为充填物质硬度永远不可能与钻石相同，往往会形成难以观察的凹坑，但对有经验的钻石专家来说，只要认真仔细观察钻石的表面，鉴别它并非很困难的事情（见图3-1-33）。



图3-1-33 钻石的激光孔

近年来，该技术已取得重大进展，激光孔直径仅0.015mm，这意味着观察时有可能漏掉激光孔。

2）新的“KM”内部激光打孔方法　KM处理方法在2000年引入，KM (Kiduah Meyuhad)是西伯来语 “特别打孔”的意思，可有两种处理方法。

A. 破裂法（裂化技术）　低质量的钻石有明显的近表面包体，并伴有裂隙或裂纹，激光将包体加热、产生足够的应力以使伴生的裂隙延至钻石表面，这种次生裂隙看起来与天然裂隙相似（见图3-1-34）。但这种处理方法掌握不好容易使钻石破裂。

B. 缝合法（裂隙连接技术）　采用新的激光孔可将钻石内部的天然裂纹与表面的裂隙连接起来，在钻石的表面产生平行的外部孔，看起来像天然裂纹。然后通过裂隙对钻石内部的包体进行处理。



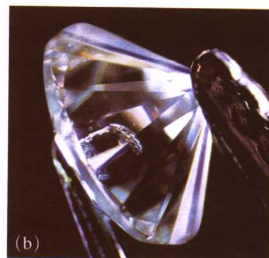


图3-1-34 KM处理钻石中的裂隙

(a) 处理前亭部可见钻石内部黑色包体；

(b) KM处理后黑色包体被漂白，激光处理形成的连续裂隙出现在包体左侧



图3-1-35 KM处理钻石中的蜈蚣状包体及残留的黑色内含物



图3-1-36 KM处理钻石内连续裂隙中零星分布有残留黑色内含物

KM处理的钻石中，可见蜈蚣状包体出露到钻石表面，呈不自然状弯曲的裂隙，在垂直包体两侧伸出很多裂隙（见图3-1-35）；在激光处理的连续裂隙中有未被完全处理掉的零星黑色残留物，这是KM处理钻石的典型特征（见图3-1-36）。

（2）裂隙充填

对有开放裂隙的钻石，可以对其进行充填处理，以改善其净度及透明度。第一个商业性的钻石裂隙充填处理出现在20世纪80年代，由以色列Ramat Zvi Yehuda生产，在商业中称其为吉田法；90年代初，以色列的Koss shechter钻石有限公司生产了相似的产品，称其为告斯法，它是在钻石的裂缝中充填了透明材料；另外在纽约也产生了奥德法（Goldman Oved）的裂隙充填钻石。充填物一般为高折射率的玻璃或环氧树脂。钻石经过裂隙充填可提高视净度。对经过裂隙充填的钻石，按目前《钻石分级》国家标准的规定，将不对其进行分级。

充填钻石的鉴定可以从以下几个方面入手：

1）显微镜观察

A. 闪光效应　显微镜下观察，充填裂隙可具明显的闪光效应，暗域照明下最常见的闪光颜色是橙黄色、紫红色、粉色，其次为粉橙色。亮域照明下最常见的闪光颜色是蓝绿色、绿色、绿黄色和黄色（见图3-1-37）。同一裂隙的不同部位可表现出不同的闪光颜色，充填裂隙的闪光颜色可随样品的转动而变化。



图3-1-37 钻石的闪光效应

钻石体色将影响闪光效应的观察，无色至微黄色体色的钻石，闪光效应一般较明显。当闪光效应的颜色色调与钻石体色不同时，观 察变得较容易，如黄色钻石中的蓝色闪光效应。相反钻石体色与闪光效应的色调相同或相近时，观察较困难。如深黄色至棕色的钻石，具有橙色闪光效应，粉色钻石可以见到粉色至紫色的闪光效应。

观察闪光效应时，应注意与未充填裂隙中存在的一些现象相区别。如：

a. 薄膜虹彩效应　未充填的裂隙，像一片薄膜，会出现虹彩干涉现象，有时会被误做闪光效应。虹彩效应与闪光效应的区别在于虹彩效应同时显示红、橙、黄、绿、青蓝、紫的光谱色，而闪光效应出现的颜色相对单一，同一个充填裂隙在暗域或亮域不同的光照条件下所显示的颜色不同。

区别这两种效应的特征是：未充填裂隙的虹彩效应一般在近于垂直裂隙的方向表现得最明显，而充填裂隙的闪光效应则在几近平行裂隙的方向表现最明显。

另一个重要的区分特征是其裂隙结构。未充填裂隙一般有羽毛状外观，可见度高；充填裂隙的可见度低，不借助闪光效应很难发现；用偏光照明也能帮助区分未充填裂隙和充填裂隙。在样品和观察者之间放置一个偏光片，虹彩效应会随偏光片的转动产生颜色变化，闪光效应随偏光片的转动只有明暗的变化，其颜色不会改变。

b. 天然色斑　钻石开放裂隙中的橙黄色色斑，有时易被误认为是橙色的闪光效应，这种色斑是由铁质微粒浸染而成，在很宽的角度范围均可见。而相似色调的闪光效应仅在很窄的角度范围内可见。另外如果色斑相当厚，透明度将降低，裂隙将变得更明显，而充填裂隙则有较高的透明度。

c. 辐照斑点　裂隙中的辐照斑点也会误当作为棕色的闪光效应，尽管少见，但这种斑点像铁质斑点一样能在很多角度看见，而不像闪光效应那样。另外辐照斑点可以从裂隙延伸到钻石内部。

B. 流动构造　充填裂隙内常保留充填物充填过程中的流动构造。

C. 捕获气泡　充填物内的空洞，即未完全充填的区域可能会很大，捕获的气泡看上去像一组指纹状包体，也可能很小，而呈亮点，这都是裂隙充填的很好证据。

D. 絮状结构　充填物质过厚时可产生一种絮状结构，有时这种絮状结构又可演变成一种网状结构。絮状结构容易在激光孔的充填物中发现。

E. 在一些充填裂隙中，发现有白色近于平行的细线，可能是裂隙中的微小裂隙。这一特征很微弱，仅在光纤灯的强光照明下才能观察到。

F. 充填物颜色　充填物比较厚时，能见到浅棕色至棕黄色或橙黄色充填物的颜色。这种充填物的体色在充填的空洞和激光孔中也能看到。

G. 不完全充填　不完全充填裂隙通常极细窄，看上去像细白的划痕或暗域下的擦痕，可能是钻石蒸洗时部分充填物被去除造成的。

H. 表面残余　部分充填物残留于钻石表面。

残留于裂隙入口处呈雾状；残留于表面，就像抛光过程留下的烧痕。这种表面残余物与烧痕的区别在于，烧痕一般分布面积较大，与裂隙无关，不重新抛光去不掉。

2）用X光照相和X荧光能谱仪鉴定

A. X光照相　X光照相在检测钻石充填裂隙方面可以得出准确的结论，同时还可用来定出充填处理的程度及充填物因首饰修理过程加热被破坏的位置。

钻石在X光下呈高度透明，而充填物近于不透明（因含有Pb、Bi等元素）。充填区域在X光照片中呈白色轮廓。

在此需注意充填方向与X光底片的关系。当充填裂隙的平面垂直于底片时，曝光底片上充填区域很清楚，因为这个方向X光能被充填物质吸收；而当充填裂隙很薄，其平面平行于底片时，X光照相就不能很好地显示出充填物质。

B. X荧光能谱　X荧光能谱仪检测充填物中的微量元素（特别是Pb）并可提供确实可靠的证据。

3. 钻石膜

（1）钻石膜的产生和应用

早在20世纪50年代国际上就有在低压下用气相法制成钻石的报道，尤其是原苏联的科学家一直致力于这方面的研究，但是用这种方法制成的钻石，生成速度太慢未引起人们的注意，80年代初日本科学家用化学气相沉淀法（简称CVD法）以较快速度制成了钻石膜（简称DF）并引起美国及其他各国的重视。此后，在世界上出现了钻石膜热，并称DF为21世纪的材料。

DF是指用CVD方法生长的由碳原子组成的具有钻石结构和物理性质、化学性质、光学性质的多晶体材料。DF生长的基本原理是利用一种能量（例如热能、电能或光能）使碳氢化合物（例如甲烷、乙醇等）气体离解，产生活化的碳离子，这些碳离子在一定条件下沉积在

同质或异质基底（例如立方氧化硼、硅、钼或碳化硅等）上形成钻石膜。这就是化学气相法的原理。使碳氢化合物离解的方法很多，普遍认为以下四种方法有工业前景：电子辅助热丝法、微波等离子体、直流等离子体喷射和燃烧法。

DF（钻石膜）在宝石业中的应用有以下几方面：

1）提高和维持宝石的品位与级别，如磨制所得0.99ct的钻石，用CVD法沉积生长一层钻石薄膜，而使钻石达到1ct以上，从而大大提高该钻石的价值。

2）提高宝石的耐磨性，在一些不耐磨的宝石如鱼眼石、坦桑石、蓝晶石等上沉积钻石膜，以提高其耐磨性，也可以用来“密封”天然蛋白石表面，以防止蛋白石脱水产生龟裂。

3）提高仿造宝石的水平，在立方氧化锆上生长一层无色透明的钻石膜以提高模仿钻石的水平。

4）改善宝石的色彩，在接近无色的天然钻石上生长了一层带蓝色的钻石膜，以提高钻石颜色的级别。

（2）镀膜钻石的鉴定

天然钻石是单晶体矿物，钻石膜是多晶体，因此可用鉴定单晶、多晶体的方法区别它们，有两种无损伤的鉴定方法。

1）仔细观察其钻石膜表面，具有粒状结构，而天然钻石通常不存在粒状结构。

2）用仪器测定。可利用拉曼光谱测定，天然钻石和镀膜钻石的拉曼光谱特征具有很大差异（见图3-1-38）。

天然钻石的特征峰是在1332cm^{-1}处，因为它是单晶，所以峰的半高宽（FWHM）窄，优质DF钻石膜的特征峰在1332cm^{-1}附近（多晶及内应力都会造成Raman峰的频移），半高宽（FWHM）宽，质量差的DF钻石膜的特征峰频移大，强度减弱，甚至在1500cm^{-1}附近出现一个宽峰。对于立方氧化锆或其他低热导率宝石上的DF，只要它很薄仍可用“钻石笔”测其热导率来加以鉴定。

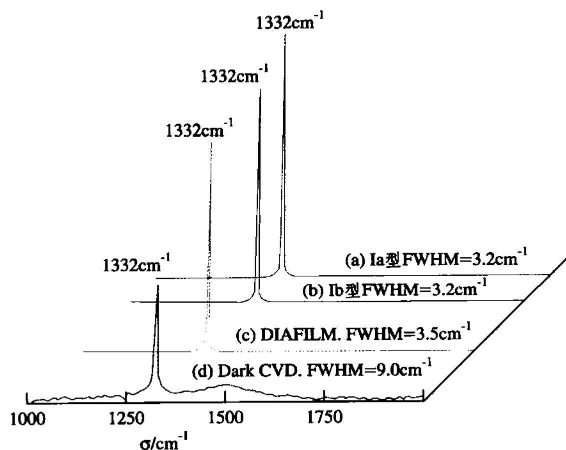


图3-1-38 天然钻石、镀膜钻石拉曼光谱图
(a) Ⅱa型天然钻石；(b) Ib型天然钻石；
(c) 优质镀膜钻石；(d) 暗色镀膜钻石

4. 拼合钻石

钻石拼合石是由钻石（作为顶层）与廉价的水晶或人造无色蓝宝石等（作为底层）粘合而成的，粘合技术非常高，可将其在镶嵌在首饰上将粘合缝隐藏起来，使人不容易发现。在这种宝石台面上放置一个小针尖，就会看到两个反射像，一个来自台面，另一个来自接合面，而天然钻石不会出现这种现象。仔细观察，无论什么方向，天然钻石都因其反光闪烁，不可

能被看穿。而钻石拼合石就不同，因为其下部分是折射率低的矿物，拼合石的反光能力差，有时光还可透过。

（三）钻石的仿制品及易混宝石的鉴别

钻石的仿制品是很多的，因为钻石的稀少和昂贵，人们很早就在仿制钻石方面绞尽了脑汁。最古老的代用品是玻璃，后来用天然无色锆石，随后人们用简单、容易实现的方法人工制造出各种各样基本性质与天然钻石相似的钻石仿制品。如早期用焰熔法合成的氧化钛晶体，即合成金红石，它有很高的色散，但是它硬度低，还有黄色，且色散过高而容易识别。针对合成金红石的缺点，人们又用焰熔法生长出了人造钛酸锶晶体，它的特点是色散比合成金红石小，近似钻石的色散，颜色也比较白，但其硬度较小，切磨抛光总也得不到锋利平坦的交棱和光面。

随着科学的发展，人们又不断生产出更近似钻石的仿制品。如人造钇铝榴石，人造钆镓榴石等，尤其合成立方氧化锆是钻石理想的仿制品。它不仅无色透明，而且其折射率、色散、硬度都近似于天然钻石，为此曾在较长一段时间，迷惑过许多人。但是只要细心比较，仍可以区别。1998 年美国推出的合成碳硅石其物理性质更接近钻石。

总的来说，钻石的仿制品主要模仿钻石无色透明，高色散，高折射率的特点，但是它们的热学性质、硬度、密度、包体、荧光性质及吸收光谱等方面均有程度不同的差别（见表 3-1-2）。利用这些差异，便可以将它们区别开来。主要的鉴定方法如下：

表 3-1-2　钻石及其代用品的物理性质

名　称		H_M	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	n	双折射率	色散	商业代号及英文名称
钻石		10	3.52	2.417	均质性	0.044	Diamond
人工宝石	合成碳硅石	9.25	3.22 ±	2.648～2.691	0.043	0.104	Synthetic moissanite
	合成立方氧化锆	8.5	5.8 ±	2.15 ±	均质性	0.060	CZ (Cubic zirconia)
	人造钇铝榴石	8	4.50～4.60	1.833 ±	均质性	0.028	YAG
	铅玻璃	5	3.74	1.62 ±	均质性	0.031	Paste
	合成金红石	6～7	4.26 ±	2.616～2.903	0.287	0.330	Synthetic rutile
	人造钆镓榴石	6～7	7.05 ±	1.97 ±	均质性	0.045	GGG
	人造铌酸锂	5.5	4.64 ±	2.21～2.30	0.090	0.130	Lithium niotate
	人造钛酸锶	5～6	5.13 ±	2.409 ±	均质性	0.190	Strontium titanate
	合成尖晶石	8	3.52～3.66	1.728 ±	均质性	0.020	Synthetic spinel
天然宝石	水晶	7	2.66 ±	1.544～1.553	0.009	0.013	Quartz
	锆石（无色透明）	7～7.5	3.90～4.73	1.92～1.98	0.06	0.039	Zircon
	蓝宝石（无色透明）	9	4.00 ±	1.766～1.770	0.004	0.018	Sapphire
	托帕石	8	3.53 ±	1.619～1.627	0.008～0.010	0.014	Topaz
	白钨矿（无色透明）	4.5～5	5.8～6.2	1.920～1.937	0.017	0.026	Scheelite
	闪锌矿	3～4.5	3.90～4.20	2.37	均质性	0.156	Sphalerite

1. 热导仪法

用热导仪来鉴定钻石及其代用品，这是快速简便又较为准确的方法，尤其对于镶嵌首饰中的钻石与代用品的鉴定意义最大。需要注意的是合成碳硅石与钻石在热导仪下具有相同的反应，但结合放大检查（可见线状包体和后刻面棱重影）就不难将二者区分（见图 3-1-39）。

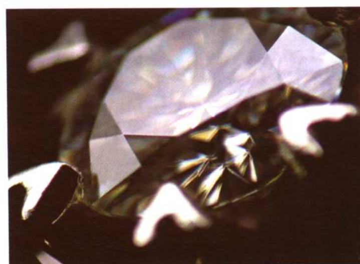


图 3-1-39 合成碳硅石中的后刻面棱重影

2. 密度及掂重

从表3-1-2中可以看到绝大部分人造的钻石仿制品的密度都比钻石大出 1～2 倍，因此，用密度测试甚至有时用手掂量就可以将它们区分开来。

3. 偏光镜检查

钻石为均质体矿物，而水晶、锆石、无色蓝宝石、托帕石、合成碳硅石及白钨矿等均为非均质体，用偏光镜很容易将它们区分开来，但应注意异常消光和假消光现象。

4. 色散

钻石的色散为0.044，而水晶、尖晶石、托帕石、无色蓝宝石等色散均小，人工的仿制品如合成金红石、人造钛酸锶、合成碳硅石等比钻石色散大得多，据色散可加以区别。

5. 折射率测定

对于铅玻璃、水晶、托帕石等低折射率的样品，其折射率均在 1.81 范围内，完全可以用测折射率法将它们区分开，但大部分人造的钻石仿制品折射率均比较高，可用反射仪进行鉴别。

四、钻石的主要产地、产量和矿床类型

目前世界上共有27个国家发现钻石矿床，其中大部分位于非洲、原苏联、澳大利亚和加拿大。

1. 非洲

非洲南部是世界主要钻石产区，南非、安哥拉、扎伊尔、博茨瓦纳、纳米比亚等都是重要的钻石出产国。世界上最大的金伯利岩岩筒（名为姆瓦杜伊）位于坦桑尼亚，估计钻石含量为5000万ct。世界上最大的钻石砂矿在纳米比亚，而且质量上乘，宝石级达95%。南非著名的来赫斯丰坦岩筒是世界上首次发现的原生钻石矿床，这里产出了许多世界著名的大钻石，如库利南（3106ct），高贵无比（999.3ct）和琼格尔（726ct）等。迄今南非共发现金伯利岩岩筒350个，钻石估计含量为2.5亿ct。博茨瓦纳是非洲另一个重要的钻石产地，迄今已发现200多个金伯利岩岩筒，其中41个，估计含量为3.5亿ct。

2. 原苏联

原苏联1954年首次在西伯利亚雅库特发现原生钻石矿床，迄今已发现金伯利岩体450个，钻石估计含量为2.5亿ct，世界著名的岩管有“和平”、“成功”、“艾哈尔”等。1988年在阿尔汗格尔斯克又发现了新的金刚石矿，估计储量约2.5亿ct，且50%是宝石级的。

3. 澳大利亚和加拿大

1972年在南澳地区发现了含钻石的金伯利岩。1979年又发现了含钻石的橄榄钾镁煌斑岩，从而在钻石矿床学是个突破性进展，因为这是世界上首次在非金伯利岩中发现了钻石，意义极其重大。现今，在西澳北部地区已发现150多个钾镁煌斑岩岩体，特别是阿盖尔钾镁

煌斑岩的发现，它是现今世界含钻石最富、储量最大的岩体。澳大利亚已成为世界钻石产量最大的国家，仅1988年，澳大利亚产钻石达3400～3500ct，但达宝石级的仅占5%。

1990年首次在加拿大西北部耶鲁奈夫市北北东360km，靠近北极圈北纬65°的湖泊地带发现了金伯利岩型的钻石原生矿，现已发现51个金伯利岩岩管，其中大多数均含钻石。有5个岩管具有重要经济价值，其钻石以无色透明为主，质量好，宝石级占30%～40%，平均品位是25～100ct /100t，年产量预计可能会达到400万ct。加拿大西北部钻石原生矿床的发现是20世纪90年代以来世界钻石史上一次重大突破。

4. 亚洲及中国

在亚洲，印度是世界最早发现钻石的国家。而且古老而有名的大钻石如“莫卧儿皇朝”(787ct)，“光明之山”（186ct)，“摄政王”（410ct)，“奥尔洛夫”（400ct）等世界名钻均产于此地，但印度钻石的原生矿床至今未发现，其砂矿的产量也有限。

我国是世界钻石资源较少的国家。1950年，在湖南沅江流域首次发现具经济价值的钻石砂矿。品位低，分布较零散，但质量好，宝石级钻石占40%左右。20世纪60年代，先后在贵州及山东蒙阴找到了钻石原生矿。山东钻石原生矿品位高、储量较大，但质量较差，宝石级钻石约占12%，且一般偏黄，以工业用钻石为主。70年代初，在辽宁南部瓦房店找到我国最大的原生钻石矿，该矿储量大，质量好，宝石级钻石产量高，约占50%以上。

五、钻石的4C评价

（一）概述

1. 钻石4C分级的定义

钻石4C分级指的是从净度（Clarity)、颜色（Color)、克拉质量（Carat Weight)、切工(Cut) 等4方面，对钻石进行综合评价，进而确定钻石的价值；由于4个要素的英文均以C开头，所以简称为4C分级。

钻石4C分级体系出现于20世纪50年代，由美国人李迪克先生（Richard T Liddicoat，1918～2003，美国宝石学院创始人之一）提出。

钻石4C分级体系是随着钻石贸易而产生、发展和健全的，数百年来，钻石分级的标准从无到有、从杂乱无章到自成体系，大大促进了钻石贸易的国际化、规范化。

2. 国际上有影响的钻石4C分级标准及机构

(1) GIA——美国宝石学院

美国珠宝学院（Gemological Institute of America)，缩写为GIA，创立于1931年，在珠宝鉴定、相关科研以及教育方面颇有建树。GIA校本部现位于美国的加利福尼亚州，目前GIA在除了非洲以外的四大洲均设有教学机构，如美国的纽约、意大利的维琴察、泰国的曼谷、韩国的釜山和首尔、日本的东京和大阪、中国的北京、香港和台北等地都设有分校。

1957年，GIA总裁李迪克先生（Richard T Liddicoat）在总结前人经验的基础上，签发了第一份钻石分级证书，正式创立了现代4C分级体系。

(2) CIBJO——国际珠宝联合会

CIBJO（来自法文 Confederation International de 1a Bjouterie, Joaillerie, Orfevrierie des Diamands, Perles et Pierres）对外的英文名称为International Confederation of Jewellry，通译“国际珠宝联合会”；是一个国际性组织，成立于1961年，注册地在瑞士，总部现设于意大利。

目前这个组织已拥有20多个成员国，得到国际珠宝首饰行业的认同。它的宗旨是保护和促进国际珠宝首饰贸易。CIBJO下设钻石、珍珠、宝石、实验室、制造、零售等分会。

CIBJO钻石专业委员会成立于1971年，并在1974年通过了CIBJO钻石分级规则。经CIBJO认可的珠宝鉴定实验室，必须具备CIBJO所规定的条件，执行CIBJO的钻石分级标准、宝石定名标准和珍珠定名标准。这些标准分别称为钻石手册、宝石手册和珍珠手册，手册向业界推荐规范的专业术语，倡导良好的贸易规则，具有一定的指导作用。

(3) HRD——比利时钻石高层议会

比利时钻石高层议会（Hoge Raad voor Diamont），成立于1973年，设于安特卫普。HRD是代表比利时钻石工商业的非营利机构。在钻石的加工技术、商业贸易、钻石鉴定分级、人才培训等方面提供服务，并且开展国际交流，在国际上也颇有知名度。在钻石分级方面，HRD有其独特的地方，尤其是在净度分级上，强调定量性。但是自从与国际钻石委员会共同起草了“国际钻石分级标准”之后，就采用了IDC标准。IDC标准净度分级与国际上其他分级标准的方法基本一致，不强调对净度特征的定量测量，但HRD的宝石学院在钻石分级的教学上，仍保留了净度分级定量性的特有理论和方法。

(4) IDC——国际钻石委员会

国际钻石委员会（International Diamond Council）是世界钻石交易所联盟（WFDB）和国际钻石制造商协会（IDMA）于1975年成立的联合委员会。该委员会的目的是要为钻石商贸制定一个在国际上普遍适用的钻石品质评价的统一标准，并且在国际范围内推广实施。为了达到这一目的，国际钻石委员会与比利时钻石高层议会，在CIBJO钻石专业委员会的参与下，于1979年提出了“国际钻石分级标准”。该标准与其他的钻石分级标准基本一致，最为显著的特点是5μm规则和外部特征在净度级别评价中的作用。

(5) Scan D.N——斯堪的纳维亚钻石委员会

包括丹麦、芬兰、挪威和瑞典等4个北欧国家的斯堪的纳维亚钻石委员会于1969年通过了一项钻石分级标准，称为“斯堪的纳维亚钻石命名规则”，简写成Scan D.N（Scandinavian Diamond Nameclature）。它把传统的颜色分级的“老术语”进行了归纳整理，并配备了相应的描述性术语，1980年又更新了原有版本。该标准的颜色分级与净度分级和GIA标准比较接近，颜色级别参照了GIA的字母术语。修订后的斯堪的纳维亚规则不仅包含了钻石净度特征的定性术语，而且创立了通过净度特征图把净度等级定义形象化、具体化的新途径。在切工评价上，以Scandinavian标准圆钻为依据。Scan D.N是欧洲问世最早的钻石分级系统标准，对欧洲各国的钻石分级标准的建立和改进起到了促进作用。

(6) ISO——国际标准组织

20世纪90年代初，国际标准化组织（The Interational Organization for Standardzation，简称ISO）着手制定国际钻石分级标准。它在TC174技术委员会（Technical Committee）下面成立了两个工作组（Working Group）：第一组负责制定贵金属方面的标准，第二组负责起草钻石分级标准。后者由国际珠宝联盟、国际钻石理事会、美国宝石学院和斯堪的纳维亚钻石术语委员会4个机构派人组成，秘书处设在德国的普福尔茨海姆市。

宝石中钻石分级是第一个被考虑编制国际标准的。因为钻石是宝石之王，销售额最大，它的勘探、开采、加工、分级、贸易历来自成一统，在分级方面积累的经验也最多。近年来随着钻石贸易国际化进程日益深化，各地采用的分级标准渐渐趋于一致，共同点越来越多，分歧越来越小，统一的条件也逐渐成熟。于是，制定国际钻石分级标准的工作终于全面展开了。虽然该组织在1993年和1997年分别制定了两次技术草案，但由于始终没有达成共识，据

说ISO已经宣布放弃制定相关标准的计划。

（7）我国的钻石分级体系

我国的第一个钻石分级标准是由地质矿产部宝石监测中心（国家珠宝玉石质量监督检验中心的前身）起草，1993年2月19日由中华人民共和国地质矿产部发布的地质矿产行业标准（DZ/T 0046 - 93），于1993年5月1日起实施。

1996年由国家珠宝玉石质量监督检验中心起草、国家技术监督局批准的钻石分级国家标准（GB/T16554 - 1996），于1997年5月1日正式颁布实施。

2003年6月由国家珠宝玉石质量监督检验中心对钻石分级国家标准（GB/T16554 - 1996）进行了重新修订，修订后的标准编号为GB/T16554 - 2003，于2003年11月1日实施。

3. 钻石分级国家标准（GB/T16554 - 2003）的适用范围

钻石的质量　未镶嵌抛光钻石质量大于或等于0.0400g（0.20ct）；镶嵌抛光钻石质量在0.0400g（0.20ct，含）至0.2000g（1.00ct，含）之间。

钻石的颜色　未镶嵌及镶嵌抛光钻石的颜色为无色至浅黄（褐、灰）色系列。

钻石的切工　未镶嵌及镶嵌抛光钻石的切工为标准圆钻型。

其他　未镶嵌及镶嵌抛光钻石未经覆膜、裂隙充填等优化处理；质量小于0.0400g（0.20ct）的镶嵌及未镶嵌抛光钻石分级可参照本标准执行。

(二)钻石的颜色分级

1. 钻石颜色分级概述

钻石最常见的颜色是无色透明至浅黄色，绝大多数首饰级钻石均为这一颜色系列。钻石的无色透明在习惯上称之为“白”，在国际钻石贸易中对钻石颜色的描述大都使用这种方法。此外在许多钻石分级的专著中亦都采用“极白”、“优白”等词汇来描述钻石的颜色。

应该说明的是这里所说的“白”与人们通常理解的“白”有所不同。简单地说，当白光照到物体上，没有发生任何吸收作用而全部被反射出来时，肉眼所见的颜色就是白色，例如，我们看到的白纸、白墙等；而当一束白光照到物体上，没有发生吸收和反射作用，白光全部透过物体，这时人们肉眼所见的颜色就是无色透明，这也正是钻石最常见颜色。因此用来描述钻石颜色的“白”与通常所说的白在成色机理上是不同的。

除无色透明至浅黄色外，钻石也可有许多种颜色，品质达到首饰级的有色钻石被称为彩色钻石（Fancy color diamond）。彩色钻石的颜色有黄色、绿色、蓝色、褐色、粉红色、橙色、红色、黑色、紫色等。彩色钻石数量极其稀少，因此价值也很高，特别是那些色调鲜艳，饱和度较高的彩色钻石，更是价值连城。历史上最负盛名的“希望”、“德累斯顿”等名钻都是罕见的色调鲜艳高饱和度的钻石。

钻石的颜色分级是人们在长期的实践当中为了满足钻石贸易的需要而不断总结摸索建立起来的。划分规则及划分方法到目前为止，仅仅适用无色至浅黄色系列（又称为Cape系列）的钻石，彩色钻石由于极其稀少，且在实际操作存在一些技术难题，至今未有成熟的分级规则。因此本节所介绍的钻石颜色分级仅针对无色至浅黄色系列的钻石，不适用于彩色钻石。

最早的颜色分级是用南非钻石矿山的名字来命名的。例如Jager是南非早期最著名的钻石矿之一，这个矿山以盛产所谓的“蓝白钻”而著称于世。在当时由于没有人去系统地标定钻石的颜色级别，因此人们就用这个矿山所产的上等颜色的钻石来代表最高的颜色级别并以这个矿山的名字来命名它。随着钻石贸易的不断发展，许多贸易公司和研究

机构对钻石的颜色命名和分级做了进一步的研究和补充，从而形成现在国际上较为通用的颜色分级体系。

2. 我国钻石颜色分级体系

(1) 钻石颜色分级的定义

钻石颜色分级：采用比色法，在规定的环境下对钻石颜色进行等级划分。

(2) 我国钻石颜色分级体系

我国钻石颜色分级体系的演变见表3-1-3。

表3-1-3 我国钻石颜色分级体系的演变

<table>
<tr><th colspan="3">DZ/T0046 － 93</th><th colspan="3">GB/T16554 － 1996</th><th colspan="2">GB/T16554 － 2003</th></tr>
<tr><th>ISO/TC</th><th colspan="2">中 国</th><th colspan="3">钻石颜色等级</th><th colspan="2">钻石颜色级别</th></tr>
<tr><td>D</td><td>100</td><td rowspan="2">极白</td><td>D</td><td>100</td><td rowspan="2">极白</td><td>D</td><td>100</td></tr>
<tr><td>E</td><td>99</td><td>E</td><td>99</td><td>E</td><td>99</td></tr>
<tr><td>F</td><td>98</td><td rowspan="2">优白</td><td>F</td><td>98</td><td rowspan="2">优白</td><td>F</td><td>98</td></tr>
<tr><td>G</td><td>97</td><td>G</td><td>97</td><td>G</td><td>97</td></tr>
<tr><td>H</td><td>96</td><td>白</td><td>H</td><td>96</td><td>白</td><td>H</td><td>96</td></tr>
<tr><td>I</td><td>95</td><td rowspan="2">微带黄色的白</td><td>I</td><td>95</td><td rowspan="2">微黄白（褐、灰）</td><td>I</td><td>95</td></tr>
<tr><td>J</td><td>94</td><td>J</td><td>94</td><td>J</td><td>94</td></tr>
<tr><td>K</td><td>93</td><td rowspan="2">带色的白</td><td>K</td><td>93</td><td rowspan="2">浅黄白（褐、灰）</td><td>K</td><td>93</td></tr>
<tr><td>L</td><td>92</td><td>L</td><td>92</td><td>L</td><td>92</td></tr>
<tr><td>M</td><td>91</td><td rowspan="14">带黄至黄色或带褐至褐色</td><td>M</td><td>91</td><td rowspan="2">浅黄（褐、灰）</td><td>M</td><td>91</td></tr>
<tr><td>N</td><td>90</td><td>N</td><td>90</td><td>N</td><td>90</td></tr>
<tr><td>O</td><td>89</td><td rowspan="12"><N</td><td rowspan="12">90</td><td rowspan="12">黄（褐、灰）</td><td rowspan="12"><N</td><td rowspan="12"><90</td></tr>
<tr><td>P</td><td>88</td></tr>
<tr><td>Q</td><td>87</td></tr>
<tr><td>R</td><td>86</td></tr>
<tr><td>S</td><td>85</td></tr>
<tr><td>T</td><td>84</td></tr>
<tr><td>U</td><td>83</td></tr>
<tr><td>V</td><td>82</td></tr>
<tr><td>W</td><td>81</td></tr>
<tr><td>X</td><td>80</td></tr>
<tr><td>Y</td><td>79</td></tr>
<tr><td>Z</td><td>78</td></tr>
</table>

2001年发布了《钻石色级比色目视评价方法》GB/T18303 － 2001，该标准对抛光的Cape系列钻石采用目视评价方法进行钻石颜色分级时，规定了基本的要求和操作规程。

(3) 与世界主要钻石颜色分级体系对照

不同国家或地区对钻石颜色级别有着不同的表示方法，总的来说，颜色级别的划分体系大致有3种（见表3-1-4）。

GIA体系　20世纪50年代，GIA对钻石的色级做了完整的划分，将颜色从无色到浅黄色

分成了23个级别，并分别用英文字母D～Z表示，并有对应的钻石比色石标样与之对应。

欧洲体系　始于20世纪70年代左右，包括IDC、CIBJO、HRD等，欧洲体系特点是颜色级别用文字来描述，即用“极白”、“优白”、“白”、“浅黄白”等文字来直接描述钻石的颜色。

中国体系　主要在中国大陆、港台地区流行。其特点是采用字母表示的同时也采用百分制法用数字表示，从100开始递减，数字越低表示黄色色调越深。

表3-1-4 各体系颜色等级对照表

<table>
<tr><th colspan="2">中国体系</th><th>GIA 体系</th><th>欧洲体系</th><th>旧名称</th></tr>
<tr><td>100</td><td>D</td><td>D</td><td>Exceptional white+（极白+）</td><td>Jager</td></tr>
<tr><td>99</td><td>E</td><td>E</td><td>Exceptional white（极白）</td><td>River</td></tr>
<tr><td>98</td><td>F</td><td>F</td><td>Rare white+（优白+）</td><td></td></tr>
<tr><td>97</td><td>G</td><td>G</td><td>Rare white（优白）</td><td>Top Wesselton</td></tr>
<tr><td>96</td><td>H</td><td>H</td><td>White（白）</td><td>Wesselton</td></tr>
<tr><td>95</td><td>I</td><td>I</td><td rowspan="2">Slightly tinted white（微黄白）</td><td>Top Crystal</td></tr>
<tr><td>94</td><td>J</td><td>J</td><td>Crystal</td></tr>
<tr><td>93</td><td>K</td><td>K</td><td rowspan="2">Tinted white（浅黄白）</td><td rowspan="2">Top Cape</td></tr>
<tr><td>92</td><td>L</td><td>L</td></tr>
<tr><td>91</td><td>M</td><td>M</td><td rowspan="3">Tinted colour（浅黄）</td><td rowspan="2">Cape</td></tr>
<tr><td>90</td><td>N</td><td>N</td></tr>
<tr><td><90</td><td><N</td><td>O－Z</td><td>Yellow</td></tr>
</table>

从上表可以看出，各体系颜色级别大体一致，具有一定的对应性，可以互相对比。

3. 颜色分级条件及工具

（1）人员条件

颜色分级人员要求为颜色视觉正常，受过专门技能培训的专业人员，年龄在20～50岁为宜。比色时要由两名以上技术人员独立完成同一钻石的颜色分级，并取得统一的结果。

（2）环境条件

颜色　工作区域要求是中性色，即白色、黑色或者灰色，除此之外最好不要有其他颜色。包括房间内桌椅、墙壁、地面、窗帘，工作人员的着装、眼镜的颜色甚至肤色都对颜色分级有影响。

光线　工作区域应避免除分级用标准光源以外的其他光线的照射，暗室或半暗的实验室是理想的颜色分级环境。

其他要求　工作区域还应该干净、整洁、安静、安全，以便分级人员能够专心致志地开展工作。（见图3-1-40）

（3）工具

清洗工具　包括擦钻布，酒精、强酸等。

钻石比色灯　颜色分级中照明光线的运用历来都是十分重要的。过去在钻石贸易中采用自然光，为避免阳光直射，钻石颜色分级时，在北半球要用来自北方的日光（北侧窗），南半球采用南方光线（南侧窗）。时间是上午10点～下午3



图3-1-40 钻石分级实验室

点。但这种光源是不稳定的，随地点、时间、季节的变化而变化。如清早和傍晚，日光中以红光居多，而中午则以蓝光居多。另外日光中总含有紫外线，而大约50%的钻石在紫外线照射下会激发出蓝色荧光。蓝色荧光和黄色的体色互补，使钻石的色级看上去更高。若一粒具有很强荧光的J级钻石，在日光照射下分级可能会提高两个级别到H级。此外，空气中的灰尘和烟雾等对颜色分级也会有影响。

为了克服以上不足，需要一种人造的不含紫外线、光谱能量分布均匀、发热少、光线柔和的人造标准光源——钻石比色灯来代替日光。比色灯色温要求严格。国标GB/T16554－2003中规定的比色灯色温应为5500～7200K。GIA要求与我国标准相同，而HRD则更严格，色温必须是6500K（见图3-1-41）。

使用统一的比色灯可消除由于光源的不同对颜色分级造成的差异，使世界各地不同的实验室、不同的技术人员，能在相同的条件下进行分级，以保证分级结果的一致性和可比性。



图3-1-41　钻石比色灯

比色板、比色槽　要求白色（白度大于95）、无荧光、无明显定向反射作用的“V”形比色槽。其材质可为塑料或纸质（见图3-1-42），它可充当容器，提供白色背景，同时还可排除环境中其他光线的影响。



图3-1-42　比色板、比色槽

镊子　常使用中—小号的钻石专用镊子。

放大镜　10×宝石放大镜。放大镜框架颜色也最好是中性色。可用来观察待测样品和比色石的净度特征，防止二者混淆。

天平　秤量精度为0.0001g的电子天平（或克拉秤亦可）。用来记录待测样品的质量，防止与比色石混淆。

比色石　一套标定颜色级别的标准圆钻型切工钻石样品，依次代表由高至低不同的颜色等级。

一套比色石对颜色分级来讲是必不可少的。比色石要求非常严格，必须具备下列条件：

切工　标准圆钻型切工，切工比率级别在“好”范围之内，腰围类型为粗面腰。

重量　每粒重量大于0.30ct，大小均匀，同一套比色石之间的重量差异不应当大于0.10ct。

颜色　必须进行严格的色级标定，不得带有黄色以外的其他色调。

净度　净度级别应在 SI_i 以上，无色带及带色的矿物包体。

荧光　无紫外荧光反应。

数量　美国宝石学院（GIA）的实验室里保存着一套完整的钻石比色石 D—Z 共 23 粒。国际钻石委员会（IDC）确定的颜色标准比色石，一套共 7 粒，另外还有 3 粒荧光比色石。比利时钻石高层议会（HRD）的比色石为 9 粒（D—L）。

我国新研制的颜色标样有 11 粒（D—N），另有 3 粒荧光标样（见图 3-1-43）。

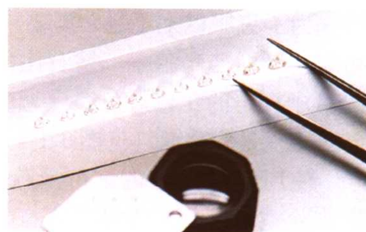


图 3-1-43 我国的钻石比色石标样

应当指出的是，合成立方氧化锆（CZ）不能做比色石，因为它的白色—黄色色调与同种颜色钻石的感觉不同，发“苍白”色，CZ 的色散较钻石强，过强的火彩也会影响颜色的感觉，而且 CZ 的颜色不稳定，会随着时间的变化而变化。

4. 颜色分级方法

（1）比色法

比色法是利用比色石与待分级钻石样品目测比对的方法对钻石颜色进行等级划分。心理学家认为，颜色是无法准确记忆的，所以该方法虽然是传统的，但也是目前最有效、国际上最通用的颜色分级方法。

（2）仪器测试法

利用仪器进行颜色测试，如色度仪、分光光度计等（见图 3-1-44）。目前德国、以色列、美国等国家都在相继研制和开发此类仪器，并有样机问世。它能排除比色法存在的人为误差，但影响颜色的客观因素很多，其结果很难体现钻石样品的实际颜色，而且比色仪器价格昂贵，目前还没有大量投入使用。



图 3-1-44 钻石色度仪

5. 颜色级别

国家标准按钻石颜色变化分为 12 个连续的颜色级别，用字母或数字表示（见表 3-1-5）。

表 3-1-5 国家标准钻石颜色级别等级表

钻石颜色级别		钻石颜色级别	
D	100	J	94
E	99	K	93
F	98	L	92
G	97	M	91
H	96	N	90
I	95	<N	<90

上述各颜色级别都是由比色石来标定的。各颜色级别的肉眼特征描述如下：

（1）D—E 级　极白，又称作“特白”、“极亮白”、“净水色”。

D 色：纯净无色、极透明，可见极淡的蓝色。

E 色：纯净无色，极透明。

(2) F—G级　优白，又称作“亮白”。

F色：从任何角度观察均为无色透明。

G色：1ct以下的钻石从冠部、亭部观察均为无色透明，但1ct以上的钻石从亭部观察显示似有似无的黄（褐、灰）色调。

(3) H色　白。1ct以下的钻石从冠部观察看不出任何颜色色调，从亭部观察，可见似有似无的黄（褐、灰）色调。

(4) I—J级　微黄（褐、灰）白，又称作“淡白”、“商业白”。

I色：1ct以下的钻石冠部观察无色，亭部观察呈微黄（褐、灰）色。

J色：1ct以下的钻石冠部观察近无色，亭部观察呈微黄（褐、灰）色。

(5) K—L级　浅黄(褐、灰）白。

K色：冠部观察呈浅黄（褐、灰）白色，亭部观察呈很浅的黄（褐、灰）白色。

L色：冠部观察呈浅黄（褐、灰）色，亭部观察呈浅黄（褐、灰）色。

(6) M—N级　浅黄（褐、灰）色。

M色：冠部观察呈浅黄（褐、灰）色，亭部观察带有明显的浅黄（褐、灰）色。

N色：从任何角度观察钻石均带有明显的浅黄（褐、灰）色。

(7)＜N级　黄(褐、灰)色。对这一类钻石，非专业人士都可看出具有明显的黄(褐、灰）色。

6. 比色法颜色划分规则

1）待分钻石与某一比色石颜色相同，则该比色石的颜色级别就是待分钻石的颜色级别。

2)待分钻石颜色介于相临两粒比色石之间，其中较低级别的比色石的颜色级别则为该钻石的颜色级别。

3）待分钻石的颜色高于比色石的最高级别，仍用最高级别表示该粒钻石的颜色。

4）待分级钻石低于“N”比色石，则用“＜N”表示该钻石颜色级别。

注意：每个颜色级别代表的是一个颜色范围，每一粒比色石都代表该色级的下限，在这一点我国的颜色级别划分与欧洲体系相同。而GIA每一粒比色石则代表该色级的上限。如G色，我国和欧洲体系都是指颜色等级＜F比色石至≥G比色石的颜色，而GIA是指颜色等级≤G比色石至＞H比色石的颜色。如图3-1-45所示，同一样品经两套比色石比色，所给出的色级应该是一致的（颜色正好落在比色石界限上的除外），但比色石正好错开一个级别。

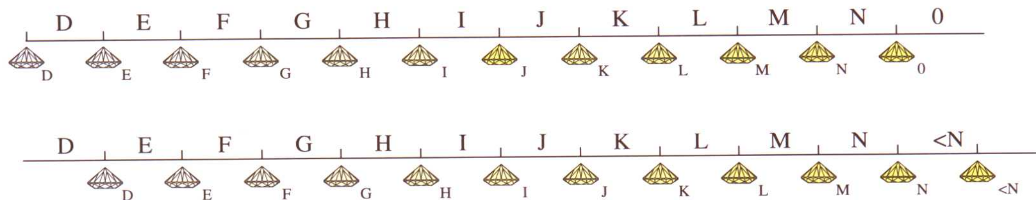


图3-1-45 比色石在色级中的位置

上：比色石位于色级的上限（GIA）；下：比色石位于色级的下限（中国、HRD）

HRD为了给出一个更加精确的颜色界限，将每一个颜色级别又划分为3个等级（见图3-1-46）：

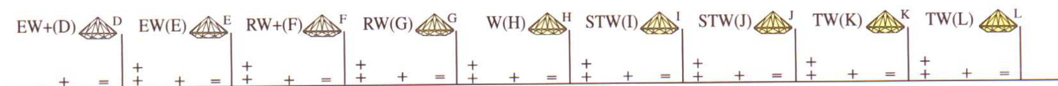


图3-1-46 HRD钻石颜色等级

= 表示样品与比色石同色；

+ 表示样品的颜色稍高于比色石；

++表示样品的颜色明显高于比色石，接近上一级颜色。

如G色可进一步划分为G、G^{+}、G^{++}，该种表示方法国内一些钻石商也会经常用到。

7. 我国颜色分级体系的适用范围

(1) 镶嵌及未镶嵌的抛光钻石；

(2) 钻石颜色为无色至浅黄（褐、灰）色系列，彩色钻石不适用于本标准；

(3) 未镶嵌的抛光钻石质量大于或等于0.0400g (0.20ct)，镶嵌的抛光钻石质量在0.0400g (0.20ct，含) 至0.200g (1.00ct，含) 之间；

(4) 未经覆膜、裂隙充填等优化处理。

8. 颜色分级操作步骤

1) 工具准备　包括比色灯、比色纸、镊子、天平及清洗工具。

2) 清洗样品　包括比色石和待分钻石样品。

擦钻布擦拭　适合于较干净的钻石样品。

酒精浸泡擦拭　适合于较脏的钻石样品。

强酸煮沸清洗　适合于很脏的钻石样品。

应注意，最好不要用超声波清洗机清洗，因为它有可能对钻石造成损伤。

3) 摆放比色石　将比色石台面朝下，色级从高到低，摆放位置由左到右，依次均匀排列，间距1～2cm（视比色槽的长度而定）(见图3-1-47)。比色石不要靠的太近，以免颜色互相影响。最好在一张纸上分别绘出各级别比色石的净度素描图，标出克拉重量，以便于随时对照检查，防止混淆。

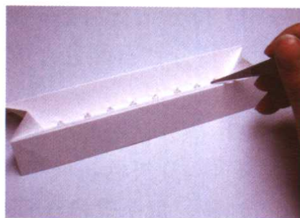


图 3-1-47 比色石的摆放

4) 熟悉比色石　将放有比色石的“V”型槽靠近标准光源（钻石、灯光与人眼的距离保持在15～20cm左右），在标准光源下冷静观察几分钟，熟悉比色石的颜色差异。必要时可将比色石打乱重新排序，看看所排顺序是否正确，以检查自己对比色石的熟悉程度。该过程可重复进行，直到熟悉为止。

5) 称重　将待分钻石样品进行称重，检查内、外部特征，并记录其特征，特别是待分钻石与比色石大小一致时，该步骤尤为必要。

6) 比色　用镊子夹住待测钻石腰部，台面向下放入比色槽，依次与比色石对比，最终确定钻石颜色级别。

7) 记录　将比色结果用规定的符号（字母或数字）记录下来，同时在颜色坐标上用符号“×”标出确切的颜色位置。

8) 检查　通过称重、内外部特征的观察确认样品，防止与比色石混淆。

9. 比色技巧

1) 比色时，通常先观察样品，若样品颜色偏白，则放于比色石最左端；若样品颜色偏黄，则放于比色石最右端。用肉眼大概判断待分钻石的色级，然后再将其放置于可能色级的比色石左右，进行颜色比较。

2) 颜色集中部位　钻石颜色常常集中于腰棱和亭部靠近底尖的位置（见图3-1-48)。

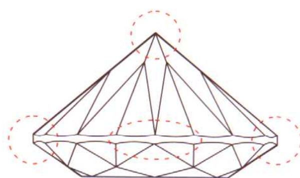


图 3-1-48 钻石颜色集中部位

3）观察方向（见图3-1-49，图3-1-50）：

视线与腰部平行。观察腰部和底尖颜色集中的部位，这也是比色时最常用的观察方向。

视线与亭部刻面垂直。观察亭部中间透明区，该区颜色浅有利于消除色调及火彩和反光的影响。

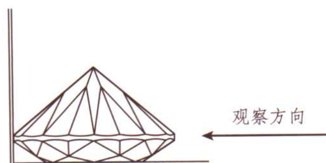


图3-1-49 视线与腰部平行观察

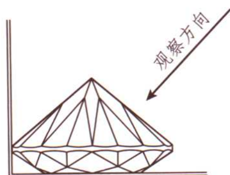


图3-1-50 视线与亭部刻面垂直观察

4）比色部位　两粒钻石比色时着重比较相同的部位，如腰部与腰部比较，底尖与底尖比较。

5）放大镜的应用　颜色相近时，放大条件下更有利于颜色的对比。放大倍数在2～5倍的低倍放大镜即可（有的比色灯上直接装有低倍放大镜）。

6）灯光的运用　光线越强，颜色差异越明显。所以当颜色难以确定时，应使比色石尽量靠近灯光。但注意不能长时间观察，光线太强眼睛容易疲劳。可降低、抬高比色槽，调整角度，反复比较。

7）哈气的运用　钻石的反光很强，会影响颜色的判断，可以哈一口气在钻石表面，当钻石表面的雾气散开的瞬间，颜色最易观察。

8）色差效应　通常比色石的摆放顺序是由左至右，颜色由白至黄。所以当待分钻石与比色石颜色非常接近时，人的眼睛会产生错觉，总觉得在比色石左边的就显得白一些，在比色石右边的就黄一些，这就是所谓的色差效应。通常会有以下3种情况：

a. 若将待测钻石放在比色石的左侧时颜色略深，放在右侧时颜色略浅（见图3-1-51（a）），则待测钻石的色级正好与比色石相同，其色级标定为该比色石的色级。

b. 待测钻石放在比色石的左侧时颜色略深，放在右侧时颜色相同（见图3-1-51（b）），则待测钻石色级低于该比色石，其色级标定为该比色石的下一色级。

c. 待测钻石放在比色石的左侧时颜色相同，放在右侧时颜色略浅（见图3-1-51（c）），则待测钻石色级略高于该比色石，其色级标定为该比色石的色级。

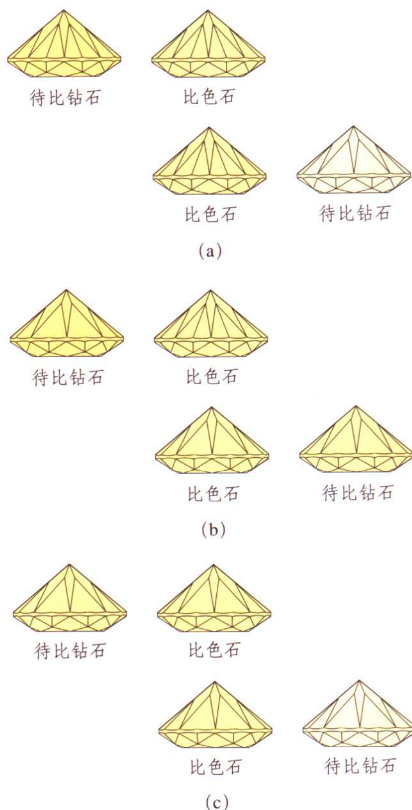


图3-1-51 色差效应示意图

10. 颜色分级的影响因素

（1）钻石对白光的吸收作用

当一束白光通过物体时，不发生任何吸收而全部透过，物体则呈无色透明。如果物体吸收了白光中某一波长的光线，就会产生颜色。

（2）光源对钻石颜色的影响

用来观察物体颜色的光源会直接影响物体的颜色，同一颗钻石在白炽灯下与在日光下所看到的颜色会截然

不同，这是因为白炽灯比日光含有更多的黄色光。因此客观地评价钻石的颜色应在统一的标准光源下进行颜色观察，这样才会使结论具可比性。

（3）肉眼识别颜色的能力

每一个人对颜色和光亮的感觉是不同的。因此同一种颜色，不同的人会有不同的认识。

（4）紫外荧光对钻石颜色的影响

许多钻石在紫外光照射下产生荧光，荧光的颜色和强度亦有所不同。荧光色通常是蓝白色，当光源内含有较多的紫外光时，受蓝白色荧光的影响，钻石的颜色会显得更白些。

（5）背景色调对钻石颜色的影响

钻石所处的背景颜色对物体本身颜色有一定影响，将同一粒钻石放在浅蓝色背景和红色背景当中，人们往往感觉在蓝色背景上的钻石显得更白一些，其实这仅仅是一个错觉，这也正是钻石商为什么喜欢用蓝色的纸包钻石的原因。因此钻石颜色分级时，室内环境色调，特别是工作台的颜色以及分级师着装的颜色都要求为中性色调。

（6）钻石的大小

同一色级的钻石，颗粒越大，感觉颜色越黄；颗粒越小，感觉颜色越白。所以待比钻石与比色石大小差别悬殊时，比色过程中应着重比对靠近亭尖的部位。

（7）色带和色域

出现色带、色域（或称色团、色块），通常从亭部观察比较明显。如果颜色很浅，不影响色级评定，则不予考虑；如果颜色很深，同一个钻石上不同区域出现两个色级，则不能从亭部比色。应从台面观察其整体颜色，与比色石的台面进行比对。如果台面观察仍可看到色域，则视具体情况降低色级。

（8）包体

净度在VS以上的钻石或含有无色包体的钻石，颜色分级时可以不考虑包体颜色的影响；如含有较大的带色内含物，则要调整钻石方向，选择不受这些内含物影响的方位进行比色，以排除它在颜色分级中的影响。

（9）切工

切工对钻石颜色的影响往往为人们所忽视，切工差的钻石影响光在钻石中的折射与反射。亭部过浅甚至出现鱼眼效应，会显得钻石色浅；亭部过深，甚至出现黑底效应，会显得钻石色深；腰部过厚或出现严重的须腰，则会使钻石产生灰色调。

如果亭部比例偏差较大，比色时要着重比较腰部；如果腰部比例偏差较大，就要比较亭部（亭尖或亭的中部）；或在这两种情况下都采用冠部与冠部比较。总之要在多个方向比对后给出综合评价。

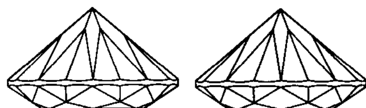


图3-1-52 同浓度灰、黄色调的钻石颜色示意图

（10）带灰色、褐色的钻石

带有灰、褐色调的钻石，颜色发暗，定级时色级经常会偏低，这时应比较它们颜色的饱和度或透明度，尽量避免色调的影响。如三杯清水中分别滴入一滴浓度相同的黄色、灰色、褐色颜料，由于色调不同，给人感觉褐色最深、灰色次之、黄色最浅，但实际它们颜色的饱和度是相同的（见图3-1-52）。

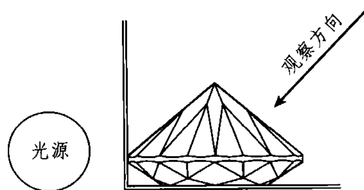


图3-1-53 透射光比色法

对带有灰、褐色调钻石的比色，最好采用透射光比色法，即让光线从比色槽的后面或下面透出（见图3-1-53），此时灰、褐色调减弱，更容易比较其颜色的浓淡（饱和度）

或透明度，比色会更容易一些（GIA宝石仪器公司的钻石灯上方带有该装置）。

有一种情况例外，带有很浅褐色色调的钻石从台面看，颜色较同一色级的浅黄色钻石浅，特别是25分以下的钻石更是如此。这就是为什么有些钻石经销商喜欢买这类钻石的原因。

（11）花式切工钻石

标准圆钻型以外的其他切工，统称为花式切工。由于钻石的形状不同，光线聚集的部位不同（见图3-1-54），颜色差别较大。如榄尖形的钻石，沿长轴方向观察颜色感觉较深；沿短轴方向观察则颜色较浅。比色时通常以斜角方向比色为准，或对比刻面分布与比色石最相似的地方（见图3-1-55）。

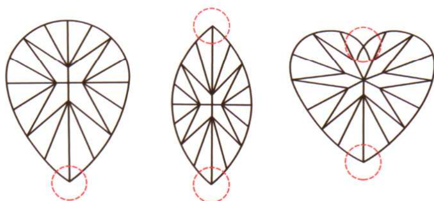


图3-1-54 花式切工钻石颜色集中部位

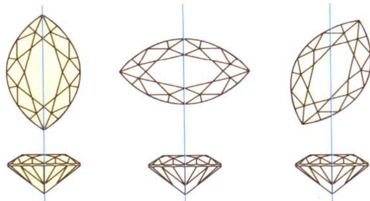


图3-1-55 花式切工钻石颜色比色方法示意图

（12）其他影响因素

1）分级时间不宜过长，通常一粒钻石的分级时间不超过1～2分钟，连续分级不超过2小时。经验证明，人的第一感觉最为敏感可靠。特别是当你左右拿不定主意时，切不可硬盯着看非要定出级别不可，应停下来休息一会儿，等视力恢复以后再观察，往往会有一个更准确的判断。

2）相信自己，培养自信心。定级前不要探听别人的结果，否则先入为主，往往会影响自己的判断力。

3）保持良好的心理和生理状态。颜色分级时人为的主观因素不可避免，所以当疲劳、生病或情绪不好时不宜进行颜色分级。

（三）钻石的荧光分级

1. 荧光分级工具

除颜色分级所使用的工具外，还需另外准备：

1）荧光灯　波长为365nm长波紫外荧光灯，最好带有暗箱，以避免其他光线的应影响。

2）荧光比色石　一套已标定荧光强度级别的钻石样品，共3粒，依次代表强、中、弱3个级别的下限。

荧光比色石的要求：标准圆钻型切工，重量大于0.20ct。

最好在一张纸上分别绘出荧光比色石的净度素描图，标出克拉重量，以便随时检查，防止待比钻石与荧光比色石混淆。

2. 荧光级别的划分规则

按3粒荧光比色石在长波紫外光下的发光强度，将钻石的荧光级别划分为强、中、弱、无4级。

1）若待分级钻石的荧光强度高于荧光比色石的最高级别“强”，仍用“强”来表示该钻石的荧光强度级别。

2）待分级钻石的荧光强度介于相邻两粒荧光比色石之间，则以其中较低的级别代表该钻石的荧光强度级别。

3）待分级钻石的荧光强度低于荧光比色石中“弱”，则用“无”来表示该钻石的荧光强度级别。

3. 荧光分级的操作步骤

1）清洗样品。

2）记录待分级钻石的净度特征及克拉重量。

3）打开荧光灯的长波开关，将荧光比色石台面朝下，由强到弱，由左到右依次排列在荧光灯下，间距2cm左右。

4）将待分级钻石放入暗箱中由右到左依次比对，记录结果。

5）检查样品，防止与比色石混淆。

4. 荧光分级的注意事项

1）荧光分级通常与颜色分级同步进行。但应在颜色分级完成之后再进行荧光强度的对比。因为有的钻石带有磷光，将会影响颜色分级的准确性。

2）因为荧光强度的对比较颜色对比容易得多，所以对比时将待分级钻石放在荧光比色石前面一点即可，不要放在荧光比色石的旁边，以免在暗环境中将待分级钻石与荧光比色石混淆（见图3-1-56）。

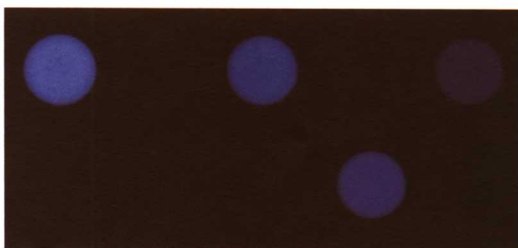


图3-1-56 钻石荧光强度的对比

3）注意观察亭部，必要时可边观察边转动，防止钻石表面反光与荧光相混。

4）经常检查长短波开关按钮，保证在长波下进行比对（因为不注意会按错按钮）。钻石在长短波下的荧光强度不同，有可能得出错误结论。

5）注意待分级钻石放置方向要与比色石一致，因为台面朝下或亭部朝下其荧光强度可能差别很大。

6）荧光强度为“无”的钻石并不都是没有荧光，可能只是比荧光强度为“弱”的比色石稍弱而已。

（四）钻石的净度分级

1. 概述

16世纪前，钻石的品质是根据重量和形态划分的，颜色和净度不在考虑之列。巴西钻石的发现，使人们意识到内含物和颜色对钻石的影响。20世纪初随着南非钻石的大量发现，巴黎将钻石的净度分为肉眼不可见“镜下无暇”（loupe－clean）和放大镜下可见“有瑕”（pique）两个级别。1953年美国珠宝学院李迪克先生提出了一套9个等级的钻石分级体系方案：FL、VVS_1、VVS_2、VS_1、VS_2、SI_1、SI_2、I_1、I_2，1970年又增添了IF、I_3两个级别；与此同时，欧洲类似的钻石分级体系相继出台，分为LC、VVS_1、VVS_2、VS_1、VS_2、SI_1、SI_2、P_1、P_2、P_3共10个级别，并提出以中性词“内含物”（inclusions）取代“瑕疵”（imperfect）这一贬义词，逐渐建立起现代净度分级体系。

钻石的净度分级的概念：在10倍放大镜下，对钻石的内部和外部特征进行等级划分。即系统全面观察钻石，找出净度特征（内含物），根据其位置大小、数量、可见度和对钻石美观、寿命的影响，最后定出钻石净度级别的过程。

2. 钻石的内部特征

钻石的内部特征是指包含或延伸至钻石内部的天然包体、生长痕迹和人为造成的缺陷。

常见的钻石内部特征类型符号及其表示方法见表 3-1-6。

表 3-1-6 常见的钻石内部特征类型符号

编 号	符 号	名 称	说 明
01	●	点状包体	钻石内部极小的天然包裹物
02	◌	云状物	钻石中朦胧状、乳状、无清晰边界的天然包裹物
03	○	浅色包体	钻石内部的浅色或无色天然包裹物
04	●	深色包体	钻石内部的深色或黑色天然包裹物
05	//	内部纹理	钻石内部的天然生长痕迹
06	△	内凹原始晶面	凹入钻石内部的天然结晶面
07	⌒	羽状纹	钻石内部或延伸至内部的裂隙，形似羽毛状
08	⌒	须状腰	腰上细小裂纹深入内部的部分
09	⦶	空洞	大而深的不规则破口
10	∧	破口	腰部边缘破损的小口
11	X	击痕	受到外力撞击留下的痕迹
12	⊙	激光痕	用激光束和化学品去除钻石内部深色包裹物时留下的痕迹。管状或漏斗状痕迹称为激光痕。可被高折射率玻璃质充填

钻石常见的内部特征有：

（1）矿物包体

矿物包体是包裹在钻石内部的矿物晶体。钻石当中常见的矿物包体有：镁铝榴石、铬透辉石、橄榄石、金刚石、金云母、铬铁矿、磁铁矿、石墨、尖晶石、顽火辉石、钛铁矿等。这些矿物包体大多是在钻石生成的早期包裹在其中的，是典型的原生包体。



图 3-1-57 钻石中的浅色矿物包体

矿物包体的颜色多种多样，有无色、绿色、紫色、红色、棕褐色、黑色等。在净度分级时浅色矿物包体和深色矿物包体对净度影响程度不一样，大小相近、且所处位置基本相同的深色包体与浅色包体相比，前者对净度的影响更严重一些（见图 3-1-57）。



图 3-1-58 钻石中的深色矿物包体

矿物包体一般都呈较好的自形晶体，特别金刚石、石榴石等矿物，常呈十分完美的自形晶。矿物包体也可呈鳞片状、浸染状或不规则状，这些形状的矿物包体一般不是单晶而是集合体，如片状的石墨以及浸染状的金属氧化物等（见图 3-1-58）。

（2）云状物

是指钻石中呈朦胧状、乳状、无清晰边界的一类包体，有时


图 3-1-59 钻石中的云状物

也称雾状包体。云状物的成因较复杂，可以是由许多分散的细小固体颗粒组成，可以是由晶体的缺陷或错位造成，也可以是一系列微小的裂隙（见图 3-1-59）。一些云状物颜色很淡，用 10 倍放大镜很难发现，需借助高倍显微镜观察。

（3）点状包体

是钻石内部极细小的包体。可以是独立的一个、两个，也可成群出现，有时亦称之为“针点”。点状包体通常是一些细小的矿物颗粒，颜色通常是白色或黑色，一般用 10 倍放大镜观察不到清晰的形状（见图 3-1-60）。有的点状包体非常微小，在高倍显微镜下都很难发现，高净度级别的钻石应该特别注意有没有这种包体的存在，否则很可能会划到不同净度级别中去。


图 3-1-60 钻石中的点状物


图 3-1-61 钻石中的羽状纹

（4）羽状纹

钻石内部或延伸至内部的裂隙，形似羽毛状。羽状纹的大小形状千差万别，可以是封闭在钻石内部的也可与钻石表面连通，常有一个相对平整的面，也可以是凹凸起伏的。羽状纹的颜色多为乳白色或无色透明。有一些羽状纹的面上有黑色炭质薄膜，看上去与是黑色矿物包体相似，这是当钻石产生张裂隙时，内部压力骤减而使钻石转变成石墨所致。还有一些羽状纹常分布于某一结晶包体的四周，为张裂隙（见图 3-1-61）。

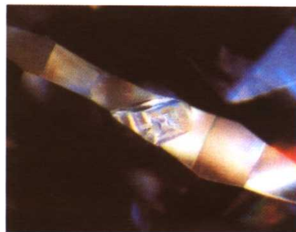

图 3-1-62 钻石中的内部纹理

（5）内部纹理

是钻石内部的天然生长痕迹。亦称生长线、生长结构、内部生长纹等（见图 3-1-62）。可有几种成因，①由双晶或晶格错动等原因而引起的钻石内部原子排列不规则；②由于钻石阶段性生长而形成的条带；③是钻石的双晶纹。常常呈平直或弯曲的线状、条带状，一组或多组出现，有些条带之间还可有颜色差别，又称之为色带。

（6）内凹原始晶面

凹入钻石内部的天然结晶面。内凹原始晶面上常保留有阶梯状、三角锥状生长纹，多出现在钻石的腰部（见图 3-1-63）。


图 3-1-63 内凹原始晶面

（7）空洞

钻石上大而深的不规则破口。通常是指钻石内部的包体在切磨时崩掉留下的孔洞（见图 3-1-64）。

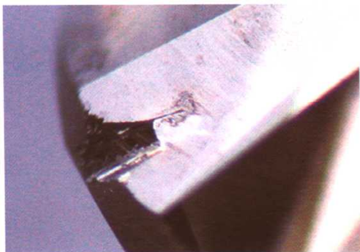

图 3-1-64 空洞

（8）破口

钻石腰部、刻面棱线上较小的破损（见图 3-1-65）。

（9）击痕

钻石受到外力撞击留下的痕迹。围绕撞击中心有向外放射状的细小裂纹，当延伸至钻石内部时称之为“碎伤”（见图 3-1-66）。


图 3-1-65 破口

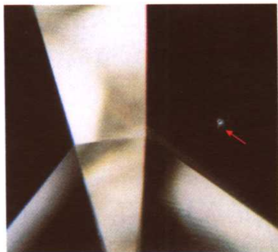

图 3-1-66 击痕

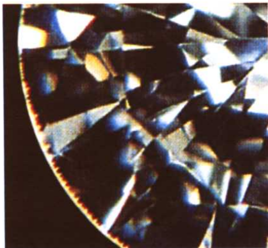

图 3-1-67 激光痕

(10) 激光痕

用激光束和化学品去除钻石内部的深色包体时留下的痕迹。形似管道或漏斗状的痕迹称为激光痕（见图 3-1-67）。激光痕有开口与钻石表面连通，有时可被高折射率的玻璃质充填。

(11) 须状腰

腰上细小裂纹深入内部的部分。是在钻石打圆过程中，由于操作不当产生的一系列竖直的细小裂纹，形如胡须，故而得名（见图 3-1-68）。


图 3-1-68 须状腰

3. 钻石的外部特征

常见的钻石外部特征类型符号及其表示方法见表 3-1-7。

表 3-1-7 常见的钻石外部特征类型符号

编　号	符　号	名　称	说　明
01	(符号) N	原始晶面	为保持最大质量而在钻石腰部或近腰部保留的天然结晶面
02	(符号)	表面纹理	钻石表面的天然生长痕迹
03	//////////	抛光纹	抛光不当造成的细密线状痕迹，在同一刻面内相互平行
04	(符号)	刮伤	表面很细的划伤痕迹
05	B	烧痕	抛光不当所致的糊状疤痕
06	(符号) E	额外刻面	规定之外的所有多余刻面
07	∧	缺口	腰或底尖上细小的撞伤
08	(符号)	棱线磨损	棱线上细小的损伤，呈磨毛状

钻石的外部特征是指暴露在钻石外表的天然生长痕迹和人为造成的缺陷。

除少数几种外，外部特征多由人为因素造成，相对内部特征，外部特征对钻石的净度影响较小。一些微小的外部特征经重新加工去除可不影响钻石的净度等级。常见的外部特征有以下几种：

（1）原始晶面

钻石上保留的未经人工抛光的天然晶面。在腰部最常见，偶尔也会在钻石的其他刻面上见到，原始晶面常有明显的阶梯状、三角形状等生长花纹（见图3-1-69）。

（2）表面纹理

钻石表面的天然生长痕迹。与内部纹理的成因基本相同，内部纹理出露在钻石的表面即为表面纹理。表面纹理常贯穿多个刻面，在刻面之间是连续的（见图3-1-70）。

（3）刮伤

钻石表面很细的刮伤痕迹。通常是在钻石表面的一条很细的白线，如同玻璃被利器划过一样（见图3-1-71）。钻石是已知世界上最硬的矿物，引起刮伤的原因是磨光盘上有较大的钻石抛光粉颗粒，在高速转动下可刻划钻石。此外钻石之间彼此摩擦也会造成表面的划伤。

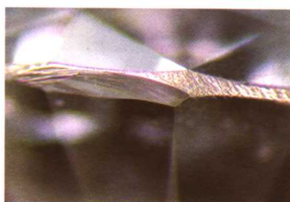


图3-1-69 原始晶面



图3-1-70 表面纹理



图3-1-71 刮伤

（4）抛光纹

由于抛光不慎在钻石表面留下的一组或多组平行的线状痕迹（见图3-1-72）。

抛光纹的特点是在同一刻面内的抛光纹是平行排列的，相邻刻面抛光纹不连续，彼此有夹角，以此可与外部生长纹区别。

（5）烧痕

抛光不当在钻石表面留下的糊状疤痕。这种糊状的痕迹是清洗不掉的，如同钻石表面被米汤滴染过一般（见图3-1-73）。由于抛光盘不洁净，加之操作人员技术欠佳，少量的抛光粉被高速摩擦产生的热能燃烧，粘在钻石表面，甚至热能直接使钻石表面燃烧，造成这种糊状疤痕。

（6）额外刻面

除规定的刻面之外所有多余的刻面（见图3-1-74）。这可能是由于加工失误造成的，也可能是为了消除钻石表面某些瑕疵而被迫切磨出来的刻面。

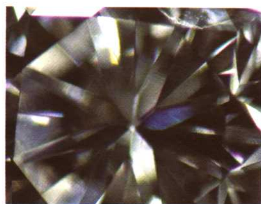


图3-1-72 抛光纹



图3-1-73 烧痕

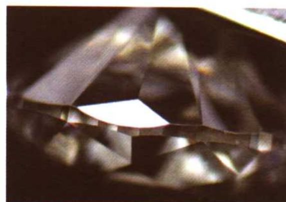


图3-1-74 额外刻面

(7) 棱线磨损

钻石刻面的棱线受极轻微的损伤，使其由原来的一条锐利的细直线变成较粗的、磨毛状的线条（见图3-1-75）。棱线磨损与外部特征中的缺口相比，前者是极轻微的损伤，而后者则是比较严重的损伤。

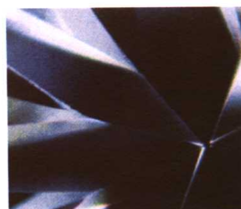


图3-1-75 棱线磨损

(8) 缺口

钻石腰部或底尖上细小的撞伤。常呈“V”字形，其破损程度小于内部特征中的破口（见图3-1-76）。

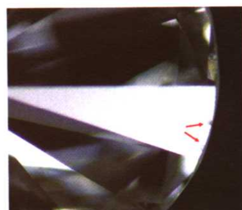


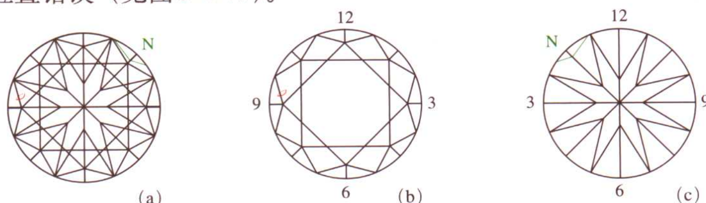
图3-1-76 缺口

4. 净度素描图

将钻石的全部内外部净度特征使用规定的净度特征符号描绘在冠部和亭部的投影图上，称之为净度素描图。

(1) 净度素描图的绘制方法

钻石的净度特征要求绘制在冠部和亭部的投影图上，冠部、亭部投影图呈镜像对称。冠部、亭部投影图中所画出的净度特征位置，满足左右镜像对称关系。通常用形象地用圆形钟表的时间方位来表示钻石的内外部特征在钻石中的实际位置。即将冠部投影图沿3点钟位置向右翻转，冠部、亭部投影图中画出的净度特征可以和在钻石真实对应位置一样，完全吻合。绘图时最好将最明显的净度特征调整并绘到冠部6点钟位置，作为参照物，然后再绘出冠部其他特征及亭部图，以防绘图时相对位置错误（见图3-1-77）。



(a) (b) (c)

图3-1-77 净度素描图

(a) 钻石净度特征的实际位置；(b) 冠部素描图；(c) 亭部素描图

如果在显微镜下画净度素描图时，也可以沿6点钟位置向下翻转，上下对称作图。

(2) 净度素描图的意义

确认钻石的身份。钻石的包体类型有可能相同，但是每一颗钻石的包体数量、位置、形状不可能完全相同。这样净度素描图相当于钻石的“身份证”，可以确认它的唯一性。

支持和解释钻石净度等级。净度素描图画出了净度特征的种类、相对大小、位置，这些因素是定级的依据；通过素描图也基本能确定钻石的净度级别。

证明钻石分级时的状态。在钻石的流通、佩带等过程中，也许会受到一些损伤。如果遇到这种情况，对照净度素描图，就可以清楚看出哪些特征是在分级之后造成的。

(3) 绘制净度素描图的要求

以相应的符号绘制出净度特征的位置、形状、相对大小。常见瑕疵的图形符号见表3-1-6、表3-1-7。内部特征用红色笔描绘，外部特征用绿色笔描绘，少数涉及到表面的内部特征用红绿两种颜色标示，如激光痕、空洞等。对于净度特征的形状、相对大小的绘制力求准确。

冠部与亭部投影图上的绘制内容及描述。为了使净度素描图即能准确表达出钻石的净度特征，又使净度素描图整洁明了，绘制素描图时，同一净度特征一般只在冠部或亭部表示，而不在冠部和亭部图上重复绘出。规则如下：

(a) 冠部投影图所绘制的内容：所有从冠部可观察到的内部特征；在冠部表面出现的外部特征；只能在腰部观察到，但靠近冠部的内、外部特征。两种情况除外：一是出露于在亭部的羽状纹、空洞。该类特征一般从冠部观察清晰可见，但是它们开口在亭部，应绘制于亭部投影图。二是底尖破损。该特征位于台面中心之下，从冠部观察易见，但是它实际出现的位置在亭部，绘制于亭部投影图或进行文字描述。

(b) 亭部投影图所绘制的内容：亭部表面的外部特征；仅能从亭部观察到的内部特征；在亭部有出露的内部特征；只能在腰部观察到，但靠近亭部的内、外部特征。

(c) 描述内容：有些内外部特征无法逐一描绘，可以在投影图旁用文字叙述。如：包体影像的多少；烧痕的面积大小；色带和抛光纹的多少、明显程度；云状物的明显程度；内含物对透明度、亮度、寿命的影响等。

5. 净度级别

净度是决定钻石价值的另一个重要因素。我国钻石分级标准GB/T16554－2003中将净度级别分为LC、$VVS_{1\sim2}$、$VS_{1\sim2}$、$SI_{1\sim2}$、$P_{1\sim3}$五个大级别，共10个小级别。除我国标准外，目前国际上还存在着多种净度分级体系，如GIA、CIBJO、IDC、HRD等（见表3-1-8），无论是哪种分级体系，都是以在10倍放大条件下观察到的特征为依据。

表3-1-8 各分级机构净度等级对比

中国	CIBJO/IDC/HRD	GIA
LC	LC	FL
		IF
VVS_1	VVS_1	VVS_1
VVS_2	VVS_2	VVS_2
VS_1	VS_1	VS_1
VS_2	VS_2	VS_2
SI_1	SI_1	SI_1
SI_2	SI_2	SI_2
P_1	P_1	I_1
P_2	P_2	I_2
P_3	P_3	I_3

现将我国净度级别分别描述如下：

(1) LC级

又称镜下无瑕级（Loupe clean）。在10倍放大镜下未见钻石具内外部特征（见图3-1-78）。

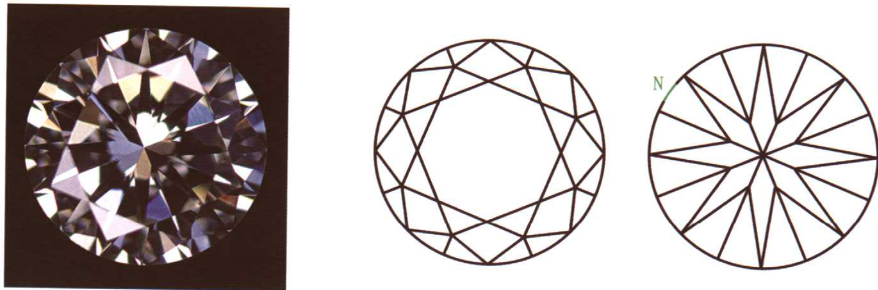


图3-1-78 LC级钻石

在下列情况下仍属LC级：

1) 额外刻面位于亭部，冠部不可见。

2) 原始晶面位于腰围内，不影响腰部的对称，冠部不可见。

3) 内部纹理无反光，不影响透明度。

4) 钻石内、外部有极轻微的特征，经轻微抛光后可去除。

上述情况对LC级以下级别划分不产生影响。

（2）VVS 级

又称极微瑕级（Very very slightly included）。在 10 倍放大镜下，钻石具极微小的内、外部特征。这些极轻微的内、外部特征通常是一些很细小的点状包体、颜色很淡的云状物、纹理、须状腰、缺口、击痕等。

极微瑕级还根据内、外部特征的大小、分布位置等因素，也就是说根据观察的难易程度细分为 VVS_1 和 VVS_2 两个级别。

VVS_1 级：钻石具有极微小的内、外部特征，10 倍放大镜下极难观察（见图 3-1-79）。

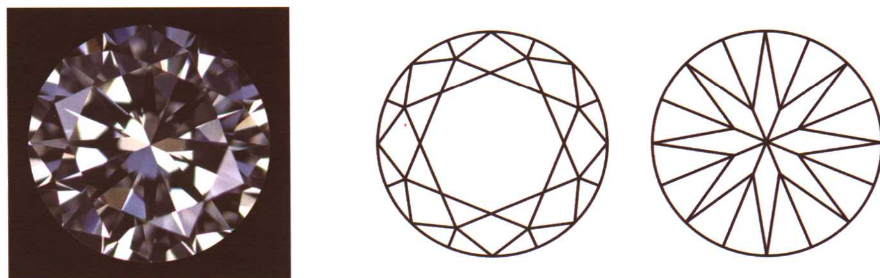


图 3-1-79 VVS_1 级钻石

VVS_2 级：钻石具有极微小的内、外部特征，10 倍放大镜下很难观察（见图 3-1-80）。

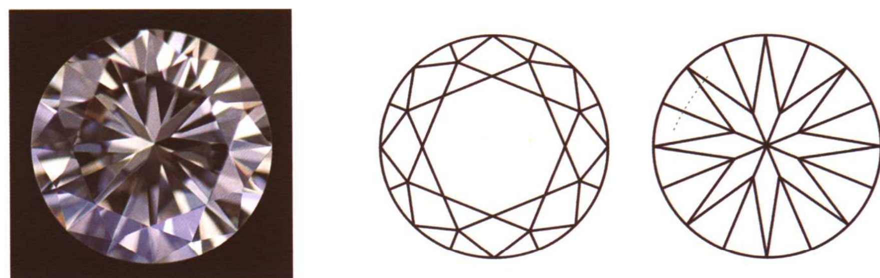


图 3-1-80 VVS_2 级钻石

VVS 级与 LC 级的根本区别在于前者同时能看到内部及外部特征，而后者只能看到轻微外部特征。

（3）VS 级

又称微瑕级（Very slightly included），在 10 倍放大镜下，钻石具细小的内、外部特征。细分为 VS_1、VS_2。

VS_1 级：钻石具细小的内、外部特征，10 倍放大镜下难以观察（见图 3-1-81）。

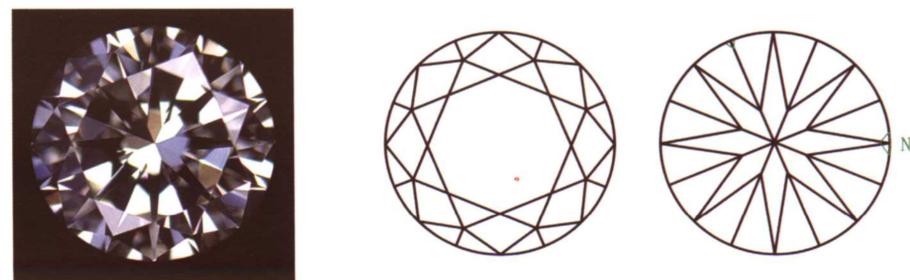


图 3-1-81 VS_1 级钻石

VS_2 级：钻石具细小的内、外部特征，10 倍放大镜下比较容易观察（见图 3-1-82）。

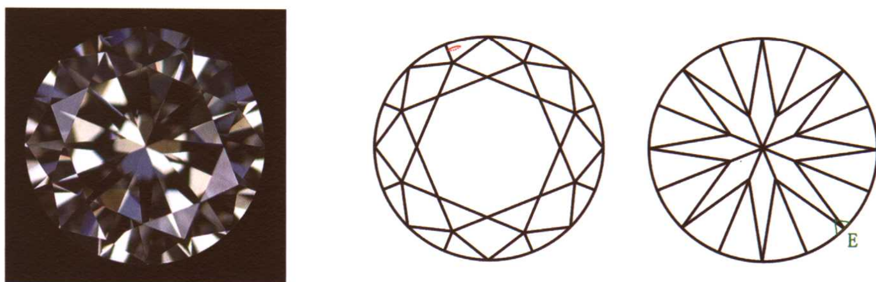


图 3-1-82　VS_2 级钻石

典型包体：点状包体群、较轻微的云状物、小的浅色包体、较小的羽状纹等。

VS 级与 VVS 级区别是在 10 倍放大条件下，前者可以观察到瑕疵，尽管也比较困难，而后者则为几乎观察不到。

（4）SI 级

又称瑕疵级（Slightly included）。在 10 倍放大镜下，钻石具明显的内、外部特征，又细分为 SI_1、SI_2。

SI_1 级：钻石具明显内、外部特征，10 倍放大镜下容易观察（见图 3-1-83）。

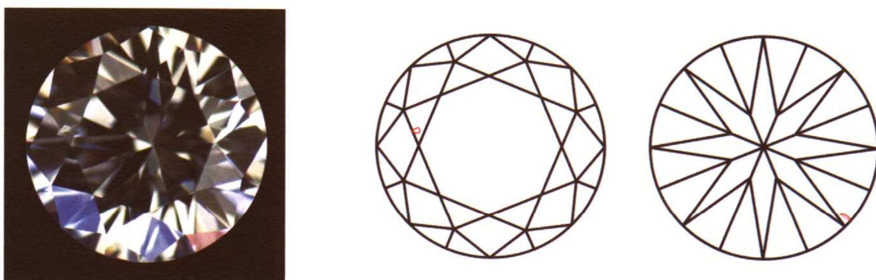


图 3-1-83　SI_1 级钻石

SI_2 级：钻石具明显内、外部特征，10 倍放大镜下很容易观察（见图 3-1-84）。

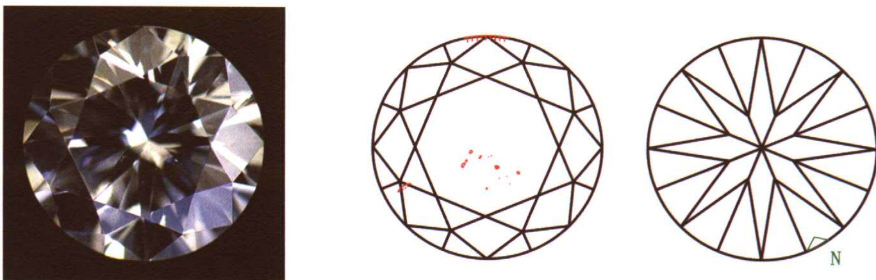


图 3-1-84　SI_2 级钻石

典型包体：较大的浅色包体、较小的深色包体、云状物、羽状纹等，各种包体类型都可能出现。与 VS 区别在于 SI 级钻石用 10 倍放大镜即可很容易发现内、外部特征，但是去掉放大装置用肉眼无法看到内、外部特征。

(5) P级

又称为重瑕疵级 (Pique)。从冠部观察，肉眼可见钻石具内、外部特征。细分为P_1、P_2、P_3。

P_1级：钻石具明显的内、外部特征，肉眼可见，在10倍放大条件下，净度特征显而易见而用肉眼从冠部观察比较困难，但不影响钻石的亮度（见图3-1-85）。

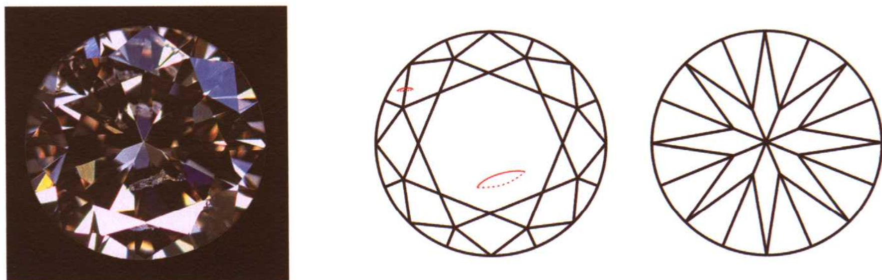


图3-1-85 P_1级钻石

P_2级：钻石具很明显的内、外部特征，肉眼易见，而且已经影响钻石的亮度（见图3-1-86）。

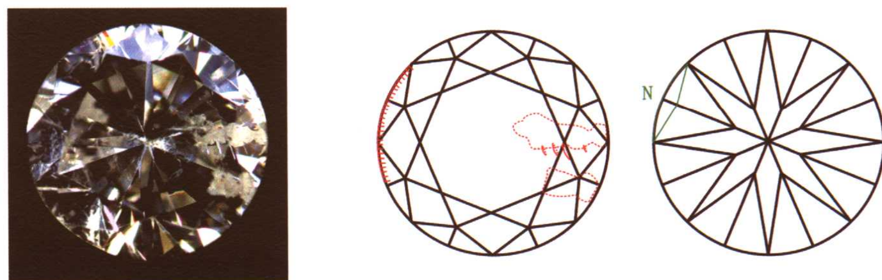


图3-1-86 P_2级钻石

P_3级：钻石具极明显的内、外部特征，肉眼极易见，并且影响钻石的亮度、透明度，部分贯穿性的裂隙还可能影响钻石的耐久性（见图3-1-87）。

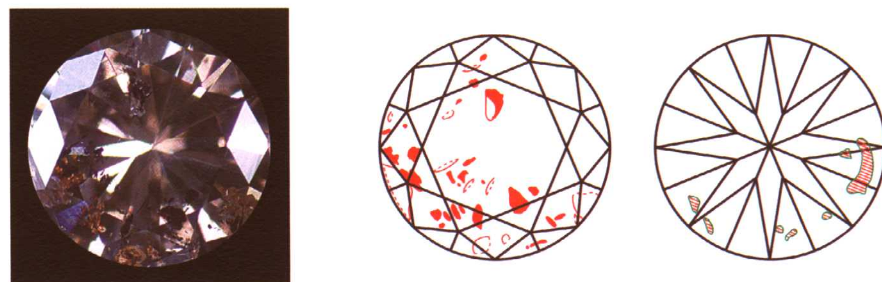


图3-1-87 P_3级钻石

典型包体：主要为大的云状物、羽状纹、深色包体，并且这些包体可能影响钻石的耐用性或者影响透明度、明亮度。

6. 分级要求

(1) 环境要求

中性环境下采用标准光源照明，在10倍放大镜下进行净度分级。

(2) 人员要求

从事净度分级的技术人员应受过专门的技能培训，掌握正确的操作方法。由2～3名技术

人员独立完成同一样品的净度分级，并取得统一结果。

7. 影响钻石净度的因素

影响钻石净度因素有很多，可归结为以下5个主要因素：

（1）净度特征的大小

毋庸置疑，瑕疵的大小是决定净度级别的最重要因素，往往影响到大级的划分。在众多的分级体系中，无论是在商业性的分级还是在实验室中，观察瑕疵大小均以10倍放大条件为准。至于瑕疵的绝对大小，比利时钻石高层议会（HRD）的研究人员在这方面已做了大量工作，并总结出著名的5μm规则。他们发现，在10倍放大条件下5μm是大多数人肉眼分辨的极限，即小于5μm的瑕疵10倍放大条件下观察不到。大于5μm的瑕疵10倍放大条件下可观察到，因此将5μm作为LC级与LC以下净度级别的划分界线。一般情况下，净度特征≤5μm为LC级，5～50μm为VVS-SI级，≥50μm肉眼冠部可见，为P级。

（2）净度特征的数量

显然，净度特征越多，越容易观察到，净度等级也就越低，甚至也可以影响到大级的划分。例如：一个小的点状物可能定到VVS级，而由大量这样的点状物聚集在一起组成云状物时，就会影响钻石内部光线的传播，严重时会影响钻石的透明度、明亮度，净度级别则可能降到P级。

（3）净度特征的位置

净度特征所在的位置也是影响钻石净度级别的重要因素。相同的净度特征因其所在位置不同会导致不同的净度级别，常常是划分小级的依据。一般说，位于台面下方的净度特征对净度的影响最大，依次是冠部、亭部和腰部。如：某净度特征出现在钻石台面的正下方时其净度为SI_2级，但如果这个净度特征出现在腰部或亭部，其净度级别就可能会是SI_1或VS_2，其原因就是钻石台面下和冠部刻面下的净度特征相对容易被发现，而腰部、亭部的净度特征较难发现。

（4）净度特征的对比度

钻石中净度特征观察的难易程度除了受其大小、数量和所在位置的影响外，还和净度特征本身与钻石背景的反差有关。通常，暗色或有色包体较无色透明包体对比度高；有清晰边界的包体比无明显边界包裹对比度高，它们容易被观察到，所以对净度影响较大。

（5）净度特征影像的数量

无论是标准圆钻型还是其他切工的钻石，都是一个由多个刻面组成的多面体，对钻石当中的净度特征而言，每一个刻面都是一面“镜子”，同一净度特征可对不同的刻面成像。因此，在钻石当中，一个净度特征多次成像的现象十分普遍。有时一个靠近亭尖附近的净度特征会在亭部多次成像，造成在钻石内部有许多净度特征的视觉效应，没有经验的人会误认为在钻石内部存有许多净度特征。由此可见，净度特征成像的数量对钻石的净度也有影响，一个净度特征成像次数越多，则净度级别也相应地有所降低，影像较多时一般可降低一小级。

8. 净度特征的观察方法

（1）10倍放大镜下净度特征观察方法

使用10倍放大镜进行净度分级时，应掌握10倍放大镜的正确操作方法。通常右手持放大镜并将其靠近右眼，左手用宝石镊子夹住钻石，置于放大镜下方约2.5mm的地方（见图3-1-88），同时还应掌握通过两个手微小的移动来调整放大镜的准焦平面，从而可以从钻石的表面一直观察到

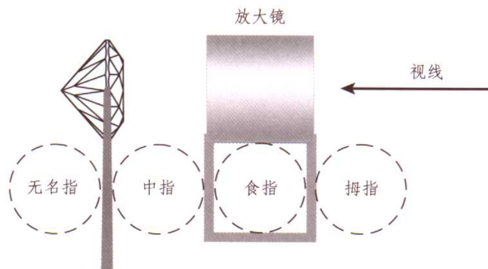


图3-1-88　镊子和放大镜配合使用示意图

钻石的内部。使用10倍放大镜常从以下4个方向去观察（见图3-1-89）：

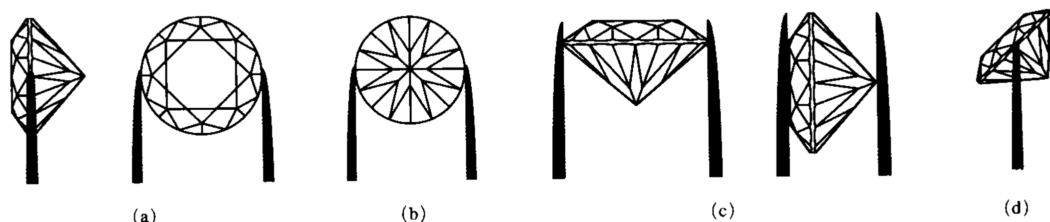


图3-1-89 钻石净度观察方位

(a) 垂直台面观察；(b) 垂直亭部观察；(c) 垂直腰围观察；(d) 倾斜观察

1）冠部观察　用镊子平行钻石台面夹持其腰部（见图3-1-89（a）），从钻石的台面向下观察，通过调整钻石与放大镜之间的距离使准焦平面从钻石台面逐渐深入到钻石的内部直至底尖，可观察钻石台面、冠部及亭部的净度特征。正面观察净度特征的过程中，不时地左右转动镊子，可更容易观察到亭部附近的净度特征。为了消除镊子影像对净度特征的遮挡，还应注意变换镊子在腰部夹持的位置。

2）亭部观察　冠部观察之后，将镊子水平旋转180°，使其亭尖向上（见图3-1-89（b）），从亭部刻面方向去观察，通过改变钻石与放大镜的距离改变准焦平面，以达到观察钻石内部整个空间的目的。对于高净度级别的钻石，亭部观察有利于寻找冠部观察时不容易看到的微小的点状包体，特别是靠近腰围的亭部区内的净度特征。观察时也应改变镊子所夹持的位置以及轻轻转动镊子，以便全面观察。

3）腰部观察　用镊子垂直台面夹持其腰部（见图3-1-89（c）左），从钻石腰围的方向观察。这种方法主要用于观察钻石腰部及其附近区域的净度特征；用镊子夹持钻石的底尖和台面也可进行腰部观察（见图3-1-89（c）右），此时可用手指轻轻拨动钻石的腰部，使钻石转动以便观察钻石整个腰围。但此种夹持方法极易损伤底尖，应尽量避免使用。

4）倾斜观察　冠部、亭部或腰部观察之后，轻轻推动钻石，使钻石倾斜（见图3-1-89（d））后再进行观察。该夹持方法有利于观察风筝面、上腰面或下腰面附近的净度特征。

（2）显微镜下净度特征的观察与测量

宝石显微镜无论在视域宽度，工作景深，还是照明等诸多方面都要优于10倍放大镜，因此使用显微镜作净度观察更精确、更全面。和用10倍放大镜观察一样，显微镜也应注意掌握正确的操作方法。一般情况下，用于观察钻石净度的显微镜多为普通的宝石显微镜，比利时钻石高阶层议会（HRD）为配合钻石的净度观察和测量方面的研究工作，在原有宝石显微镜的基础上对样品夹和辅助照明设备进行了改造，增加了可使钻石在360°空间范围内任意转动的真空吸管式样品夹，研制出钻石分级的专用显微镜。

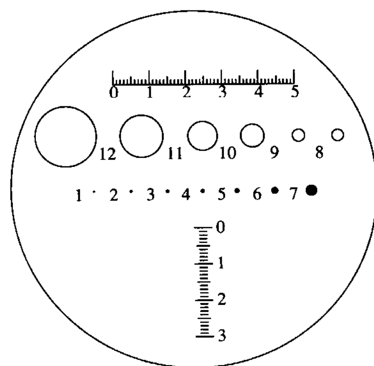


图3-1-90 HRD净度目镜微尺

在HRD钻石净度分级中，对净度特征的大小采用了目镜微尺直接测量的方法，这种目镜微尺由一系列不同大小的点、圆圈和线性尺组成（见图3-1-90）。其

中，点和圆圈用来测量点状或面状净度特征，线性微尺用来测量线状净度特征，测量出的结果按有关计算规则确定净度特征的大小，再据此查表得出钻石的净度等级。

9. 净度分级注意事项

（1）钻石的清洁

钻石具亲油性，因此往往表面沾染一些灰尘、油污或者其他脏物，这些脏物有可能会误认为是净度特征，特别对净度级别在 VS 以上的钻石，清洁是十分必要的。

钻石常用的清洁工具是擦钻布，干净的擦钻布可以清除掉钻石表面大部分灰尘，有些很难清除的脏物可以用酒精清洗，或将钻石蘸上酒精然后用擦钻布擦拭。如果是大批量的钻石，可以用浓硫酸来煮。

（2）注意区分点状包体与表面灰尘

钻石的点状包体常常与表面灰尘相混淆，不容易分辨，此时可用以下几种方法相区别：

表面反射光法：用反射光观察钻石的表面，若仍能看到点状物，则是表面灰尘，而内部的点状包体因为位置的关系很难见到。

聚焦法：将放大镜的焦平面调整到钻石的表面，若能清楚地看到点状物，则是表面灰尘，反之，则可能是内部的点状包体。也可用镊子夹持钻石浸泡在酒精中，取出后乘酒精挥发前立即观察，此时钻石表面的酒精可以遮挡住绝大多数表面的灰尘和表面反光，从而可以清楚地观察到钻石的内部特征。

（3）注意区分净度特征与其影像

有时一个净度特征可以在不同刻面上被同时观察到，特别是当内部特征靠近刻面的边缘位置时，由于刻面的镜面反射将形成多个影像。在观察时可左右摆动钻石，影像移动速度往往较快。另外，位于亭部靠近中心的净度特征，其影像是由亭部刻面反射造成的，与实际净度特征位置相比，影像往往靠近钻石的外侧。此外，也可对出现影像的刻面分别垂直观察，如果是影像，垂直观察时影像将消失。

（4）区分深色包体与羽状纹

转动钻石，羽状纹呈面状，反光时为白色，不反光时为黑色，无三维感；深色包体颜色不改变，有三维感。

（5）一些外部特征的观察方向

"抛光纹、划痕、烧痕"在对面更容易观察到。即从亭部观察到的抛光纹、划痕、烧痕，其实际位于冠部表面。

（6）不同类型照明方法的使用

外部特征应注意使用表面反射光进行观察，内部特征要使用内反射光、透射光进行观察，同时还要注意暗域、亮域照明的运用。

（7）观察姿势与心态

保持正确的观察姿势，分级时间不宜过长，保持良好的心理状态。

（五）切工分级

1. 概述

切工在钻石的品质评价中同样占有重要的地位，钻石的美丽除了颜色、净度等自身的因素外，更多的取决于人们对钻石精良的切割，才能充分地展示出钻石好的亮度、火彩和闪烁，使钻石璀璨夺目。

钻石是人类迄今所发现的最坚硬的材料，发现于公元前 4 世纪的印度。钻石曾经象征着

至高无上的权利，人们对其充满了敬畏，不敢进行加工。直到14世纪中叶，欧洲和印度的工匠们才开始对钻石进行加工。

尖琢型（point cut）是钻石的最早抛磨形态，仅限于将八面体的8个晶面磨光滑，磨削量很少，故又可称之为结晶体琢型（如图3-1-91（a））。

桌形琢型（table cut）出现于15世纪中至末期，一直沿用到17世纪。该琢型是在尖琢型基础简单地磨掉八面体的一个角顶而成（如图3-1-91（b））。

玫瑰琢型（rose cut）从16世纪初开始出现，一直盛行至19世纪。为平底、拱顶，顶部为小的三角形小面覆盖，如图3-1-91（c）所示。这种琢型的效果令人赏心悦目，重量损失小，而且扁平晶体也可制成玫瑰琢型。其缺点是火彩不足。后来发展为双玫瑰琢型（如图3-1-91（d））。

单多面形琢型（single cut）是近代圆钻式琢型的雏形，初现于17世纪中叶。其特点是一个台面加八个冠部刻面和八个亭部刻面，有时也可有一个底面，所以又称为单翻或八面切（eight cut）（如图3-1-91（e））。至今仍有许多小钻采用这种琢型。

双多面形琢型（double cut）是由单多面形琢型逐渐发展而来，又称为双翻。其外形似垫子，总共有34个小面，其中16个在冠部，16个在亭部，再加1个台面和1个底面，许多人认为这是由马扎林（Mazarin）主教倡导的结果，故又称之为马扎林琢型（如图3-1-91（f））。

三重多面形琢型。随着巴西钻石的发现，钻石业迈上了一个新的台阶，同时欧洲工业革命的兴起，科学技术也有了一个极大的提高，钻石的加工业得到了极大的发展。很多文献都将该琢型的出现归功于威尼斯的钻石抛磨工匠帕鲁兹（Vincenzic Peruzzi），他把小面数增加到58个，但形态仍是不规则的。如老矿琢型（old-mine cut）（如图3-1-91（g））、古典欧洲琢型（old-european cut）等逐渐接近现代明亮式琢型。

现代明亮式琢型（modern brilliant cut）始于20世纪初，1919年马歇尔·托尔科夫斯基（Marcel Tolkowsky）根据光学原理，经过计算提出最佳角度和比例，以产生最大的亮度和火彩。马歇尔·托尔科夫斯基设计的早期现代圆多面形琢型在美国被广泛采用，因此也被称为美国理想式琢型（American ideal cut）或标准圆钻型切工（如图3-1-91（h））。近几十年来，现代圆多面形琢型的发展日益完美，翻光面越来越多，而琢磨精度要求也越来越高。

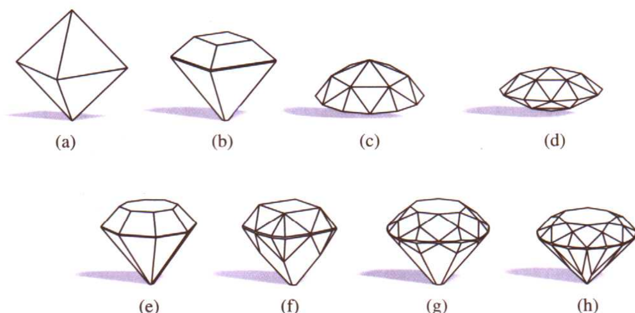


图3-1-91 钻石琢型的发展

花式琢型（fancy cut）是除标准圆钻型切工以外的其他现代钻石琢型。据估计，大约只有2%的钻石原石加工成该琢型。这主要是由于最终的抛磨形态在很大程度上依赖于原石形态，以提高钻石的出成率，而较多的钻石原石适合于制成圆多面形琢型，而不是花式琢型；另一个主要因素是花式琢型的生产成本较高，只有少数有经验的抛磨工匠能够制作，而且是一件极花时间的工作，因此，生产商常常不愿意生产这种琢型。花式琢型基本上分为多面形琢型，包括橄榄型、梨型、卵型和心型等；阶梯形琢型，常见正方形和祖母绿型等。此外，现

在钻石也常被制成一些奇特的形状，其中有马头、鱼、十字架、月牙形和肖像等。几乎每年对现有琢型都有一些改进型，或者出现一些新的琢型。

2. 切工分级的定义

切工分级（cut grading）的定义：通过测量和观察，从比率和修饰度两个方面对钻石加工工艺完美性进行等级划分。

钻石的切工分级对象主要针对标准圆钻型切工的钻石，也适用部分花式切工。标准圆钻型切工的各部分名称（见图3-1-92）。

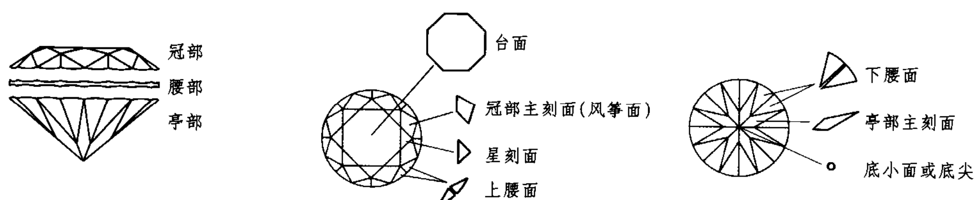


图3-1-92 标准圆钻型切工的各部分名称

圆钻型切工分级是从比率和修饰度两方面进行的，即钻石的切工级别包括比率级别和修饰度级别。

3. 比率

（1）比率的定义

比率（亦称之为比例）是指以平均直径为百分之百，其他各部分相对它的百分比（见图3-1-93）。

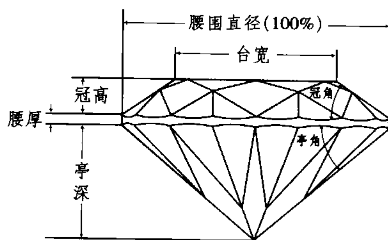


图3-1-93 标准圆钻型切工的各种比率

平均直径。直径是指钻石腰部水平面的直径，其中最大值称为最大直径，最小值称为最小直径，二者的算术平均值称为平均直径。

比率主要包括以下几个比值：

台宽比　台面宽度相对平均直径的百分比，台宽比 $= \dfrac{\text{台面宽度}}{\text{平均直径}} \times 100\%$。

冠高比　冠部高度相对平均直径的百分比，冠高比 $= \dfrac{\text{冠部高度}}{\text{平均直径}} \times 100\%$。

腰厚比　腰部厚度相对平均直径的百分比，腰厚比 $= \dfrac{\text{腰部厚度}}{\text{平均直径}} \times 100\%$。

亭深比　亭部深度相对平均直径的百分比，亭深比 $= \dfrac{\text{亭部深度}}{\text{平均直径}} \times 100\%$。

底尖比　底尖的最大直径与平均直径的百分比，底尖比 $= \dfrac{\text{底尖直径}}{\text{平均直径}} \times 100\%$。

全深比　底尖到台面的垂直距离与平均直径的百分比，全深比 $= \dfrac{\text{全深}}{\text{平均直径}} \times 100\%$。

除了上述这些线段的比例外，在钻石切割当中，有两个角度很重要，尽管这些角度与上述那些线段的比例有直接关系，但是在钻石切工分级中人们还是习惯于将它们单独列出以示其重要性。它们是：冠部角（α），冠部主刻面与腰围所在的水平面之间的夹角；亭部角（β），亭部主刻面与腰围所在的水平面之间的夹角。

（2）比率值的测量方法

钻石的比率值测量方法有多种，最常用的有微尺直接测量法、比率镜测量法和10倍放大镜目估法。其中前两种方法多应用于实验室，而10倍放大镜目估法主要用于贸易中。下面对不同方法进行简单的介绍。

1）目估法　借助于10倍放大镜估测钻石的各个比率值是目前钻石分级中最常用亦是最简便、经济的方法，特别是在贸易中尤为重要。

A. 台宽比的目估

比例法　如图3-1-94所示，用目测来估计CA和AB这两条线段的比例以确定台宽比。

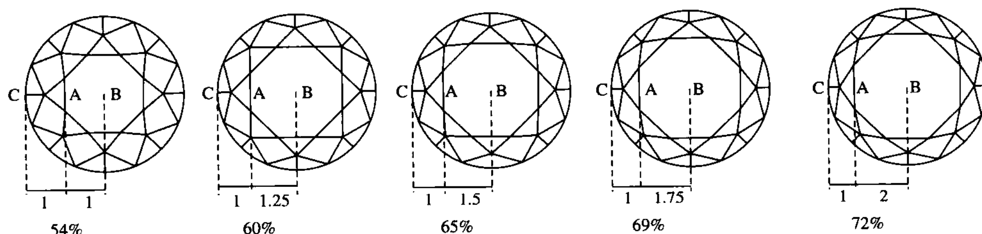


图3-1-94 比例法目估台宽比

CA：AB=1：1，　　台宽比　　54%；
CA：AB=1：1.25，　　台宽比　　60%；
CA：AB=l：1.5，　　台宽比　　65%；
CA：AB=1：1.75，　　台宽比　　69%；
CA：AB=l：2，　　台宽比　　72%。

如果目估的两条线段的比例介于上述某两组数值之间，则台宽比的数值亦相应加减。例如，如果一粒钻石的CA和AB比值是1：1.4，介于1：1.25和1：1.5之间，则其台宽比约为63%。采用比例法估计钻石台宽比时，一定要从钻石台面的正上方去观察，如果观察方向不与台面垂直，则估计出来的误差会较大。一般来说，从台面上方观察钻石，将钻石的底尖调整到台面的中心点，则认为是最理想的观察方向。另一个需要注意的问题是放大镜的焦平面应聚焦于上腰棱线，而不是台面。

弧度法　弧度法是另外一种台宽比目估方法，这种方法适用于两个上腰面的共棱正好与星刻面尖点到台面之间的垂直距离相等的情况。我们可将由台面边棱和星刻面边棱组成的图形视为一个四边形，它的四条边向内或向外弯曲的情况就能够反映出台宽比的大小（见图3-1-95）。

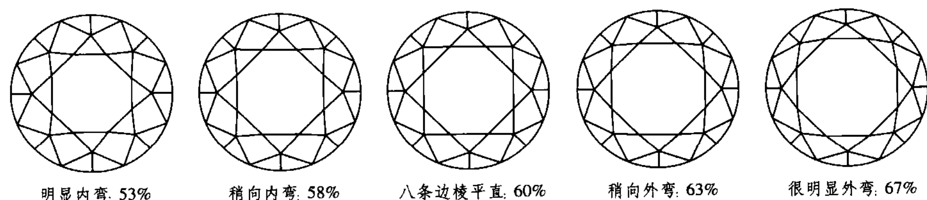


图3-1-95 弧度法目测台宽比

但如果两个上腰面的共棱与星刻面尖点到台面之间的垂直距离不相等，则采用弧度法估计出的台宽比将会有较大的误差，需要给予修正（见图 3-1-96）：

如果星刻面高度：上腰小面高 =2：1，则对所估计的百分比加 6%；

如果星刻面高度：上腰小面高 =1.5：1，则对所估计的百分比加 3%；

如果星刻面高度：上腰小面高 =1：1，则不需要修正；

如果星刻面高度：上腰小面高 =1：1.5，则对所估计的百分比减 3%；

如果星刻面高度：上腰小面高度 =1：2，则对所估计的百分比减 6%；

如果星刻面高度与上腰小面的高度大小比例介于上述的比例之间，则可采用内插法，取 1%～5% 的数值。

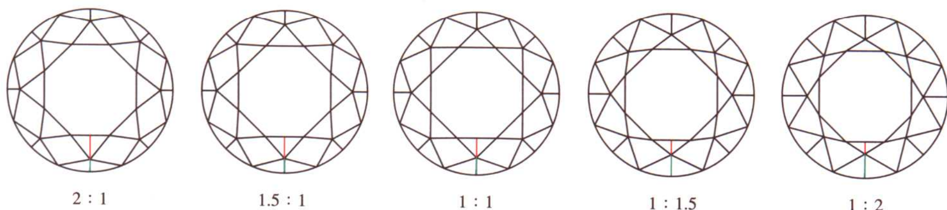


图 3-1-96　弧度法目测台宽比的修正

B. 亭深比的目估

从垂直钻石台面的方向观察，台面在亭尖周围会形成一个不十分规则的影像（图：实际图标注），它的大小主要受钻石亭部深度的影响。因此，可以根据台面影像半径占实际台面半径的比例来估测亭深比（见图 3-1-97）。

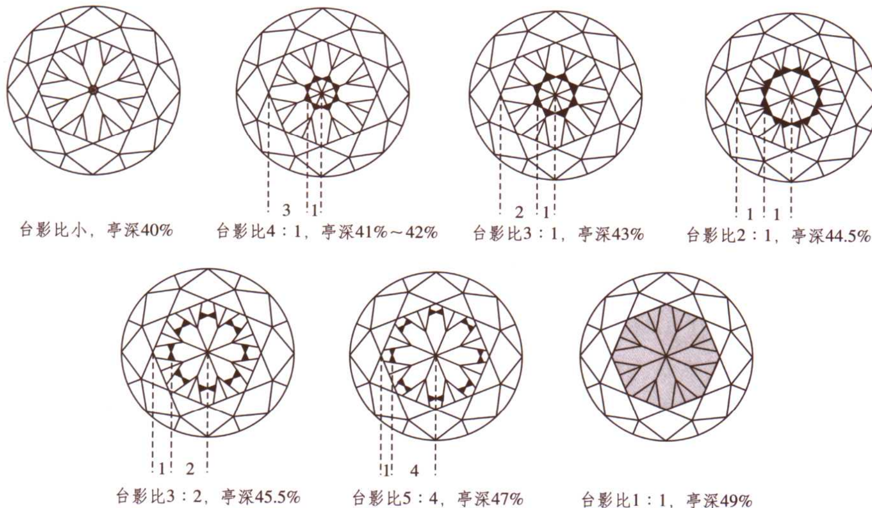


图 3-1-97　亭深比的目估

一般来说：

当亭深比小于 40% 时，会出现“鱼眼效应”；

台面影像非常小，亭深比 40%；

实际台面半径比台面影像半径为 4：1，则其亭深比为 41%～42%；

实际台面半径比台面影像半径为 3：1，则其亭深比为 43%；

实际台面半径比台面影像半径为 2：1，则其亭深比为 44.5%；

实际台面半径比台面影像半径为 3∶2，则其亭深比为 45.5%；
实际台面半径比台面影像半径为 5∶4，则其亭深比为 47%；
实际台面半径比台面影像半径为 1∶1，则其亭深比为 49%；
而当亭深比超过 49% 时，出现“黑底效应”。
目测亭深比时应注意：一定要从垂直台面的方向观察，否则会导致错误结论。

C. 冠角的目估

影像法 从钻石台面垂直观察亭部主刻面在台面内和在冠部主刻面上的影像的形态，目测 A 和 B 两条线段的比例（见图 3-1-98）。当：

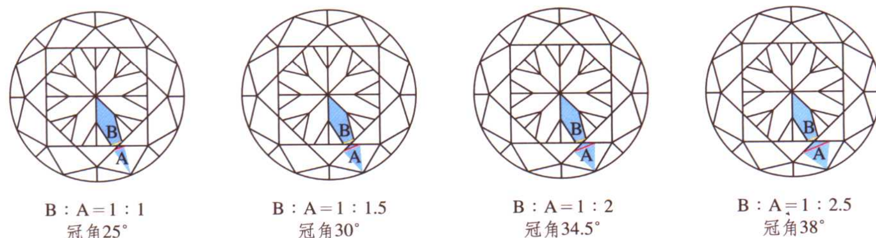


图 3-1-98 影像法估测冠部角度

正视法 如图 3-1-99 所示，用镊子夹住钻石腰部的两个风筝面的尖部，直接目测冠角。

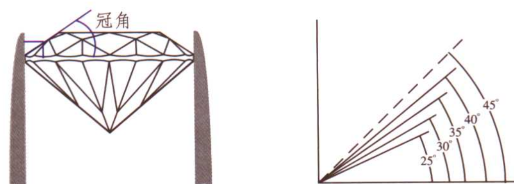


图 3-1-99 正视法目测冠部角度

D. 腰厚比的目估

a. 根据钻石的切磨抛光情况，钻石的腰围可分为 3 种类型（见图 3-1-100）。
粗面腰 钻石在抛光打磨后保留下的粗糙的腰部，质地像磨砂玻璃的表面；
抛光腰 腰围被抛光形成光滑的弧面；
刻面腰 整个腰围由若干个小刻面圈闭起来，刻面光滑。

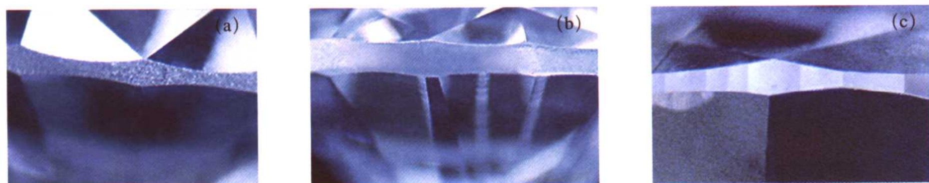


图 3-1-100 钻石的腰围类型
(a) 粗面腰；(b) 抛光腰；(c) 刻面腰

b. 腰厚比的目估以 10 倍放大镜为准,一般分为如下几个类型（见图 3-1-101）。
极薄 10 倍放大镜下腰围呈刀刃状，边缘锋利,此时腰厚比一般小 0.5%；
薄 10倍放大镜下腰围,呈线状,肉眼下勉强可见,则此时相应腰厚比一般为1.0%～1.5%；
适中 10 倍放大镜下可见到一个窄条状的腰围，肉眼下可见一条细线，则其腰厚比在 2.0%～4.5% 之间；

厚　10倍放大镜可很明显看到腰围宽窄变化，肉眼明显可见，则腰厚比通常在5.0%～7.5%；

极厚　10倍放大镜可很不美观，肉眼很容易见到，则腰围超过8%。

应注意的是，同样腰厚比的钻石，钻石越大，腰显得越厚；钻石小，则腰显得薄。应通过实际观察建立起概念。腰厚不均匀时要换不同位置观察，取平均值。腰过薄易损伤，过厚太笨重，不易镶嵌。

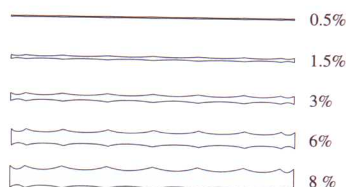


图3-1-101 钻石腰围的目估

E. 底尖大小的目估

底尖大小的目估亦以10倍放大镜为条件，分为可如下几个类型。

底尖极小　10倍放大镜底尖呈点状，则底尖为极小（< 1.0%）；

底尖小　10倍放大镜下几乎看不到底尖是一个面，则底尖为小（1.0%～2.0%）；

底尖中　10倍放大镜下可见底尖呈小面状，则底尖为中等（2.0%～4.0%）；

底尖大　10倍放大镜可见一个完整的刻面,则底尖为大（> 4.0%）。

关于底尖比的几点说明：底小面是钻石中最小的一个刻面，与台面平行，对钻石的明亮度影响较小；通常> 1ct的钻石才磨底小面，1ct以下的钻石一般不磨底小面；底小面过大，正面入射的光线从底小面漏出钻石，台面下呈一小黑点；没有底小面的钻石有一个锐利的底尖，在流通、夹持、镶嵌时非常容易受损，底尖破损后从台面下观察，底小面部位呈一小白点；底尖破损用小破、中破、大破进行描述，通常在净度分级中考虑，不算作底尖比；对于底尖大破的钻石，亭深变浅，进行亭深比估计时应注意进行修正。

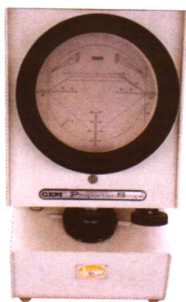
2) 比率镜测量法　比率镜是测量钻石切工的一种投影比例仪，由投影屏幕和一套投影装置及一个特别的样品夹三部分构成，在投影屏幕上画有钻石理想比率侧视图及各个比率的数值范围。待分级钻石的轮廓投影在这一屏幕上时，可从刻度上直接读出各部分比率及其与理想比率的偏差（见图3-1-102）。

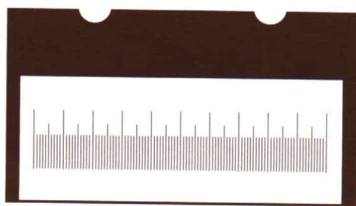
3) 微尺测量法　目前用于测量切工的微尺主要有高精度卡尺、胶片微尺及各种目镜微尺。

卡尺主要用于测量钻石的直径和全高，是用于切工测量最基本的工具。测量钻石的卡尺精度一般不低于千分之一毫米，常见有盘式刻度尺、游标卡尺、千分尺以及电子刻度尺等几种。

胶片微尺也是钻石切工测量中常用的工具，它是一种用软胶片制成的简单的微尺，即在软片上贴上一个1cm长的刻度为微米的线性尺子。借助放大镜或显微镜,使用胶片微尺可以直接测量钻石各个部分的线性尺寸。胶片微尺的使用方法（见图3-1-103）。胶片微尺测量法简便、直接、成本低廉。

目镜微尺测量是目前钻石比率测量中较精确的一种方法。HRD研制的目镜微尺由一大圆


图3-1-102 美国GIA钻石切工比率镜


图3-1-103 胶片微尺

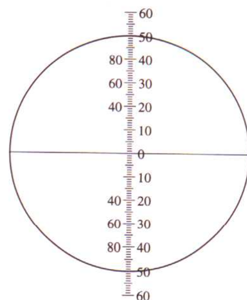


图3-1- 104 HRD目镜比例微尺

和一系列线性刻度等组成，并将其置入显微镜的目镜中（见图3-1-104）。使用目镜微尺测量各个比率值的方法是首先通过调整显微镜的放大倍数，使所观察的样品的腰围轮廓与微尺上的大圆完全重合，然后锁定这一变焦放大倍率，再进行各个比率值的测量。

使用这种目镜微尺的优点在于，无需再通过计算即可直接从尺上直接读出各个比率。此外这种微尺都是精加工制成，与显微镜配套使用，只要掌握正确的操作方法，就可直接获得非常精确的比率值。

4）钻石全自动切工测量仪　钻石全自动切工测量仪自动化程度高，精度高，省时、省力，是今后钻石切工分级的发展方向（见图3-1-105）。


图3-1-105 以色列产 DIA – Mension 2000 型钻石切工测量仪

（3）钻石比率级别

钻石比率级别见表3-1-9。

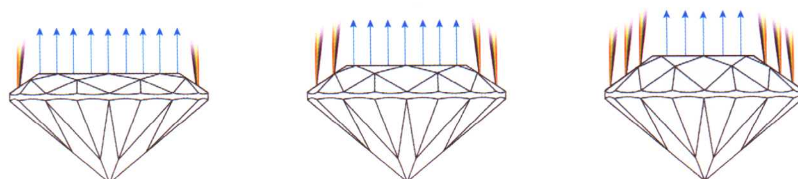
表3-1-9 钻石比率分级表

测量项目 \ 级别	一般	好	很好	好	一般
台宽比	≤ 50.0	51.0～52.0	53.0～66.0	67.0～70.0	≥ 71.0
冠高比	≤ 8.5	9.0～10.5	11.0～16.0	16.5～18.0	≥ 18.5
腰厚比	0～0.5（极薄）	1.0～1.5（薄）	2.0～4.5（适中）	5.0～7.5（厚）	≥ 8.0（极厚）
亭深比	≤ 39.5	40.0～41.0	41.5～45.0	45.5～46.5	≥ 47.0
底尖比			<2.0（小）	2.0～4.0（中）	>4.0（大）
全深比	≤ 52.5	53.0～55.5	56.0～63.5	64.0～66.5	≥ 67.0
冠　角	≤ 26.5°	27.0°～30.5°	31.0°～37.5°	38.0°～40.5°	≥ 41.0°

钻石比率级别划分应遵守最低级别原则，即以一粒钻石的多个比率值中的等级最低级别代表其比率的级别。例如，一粒钻石实测的台面宽比为64%、冠高比为10%、腰厚比为4%、亭深比为43%，据这些数据在比率分级表中查得相应的级别分别是很好、好、很好、很好，这粒钻石的比率级别应以其中最低的等级表示，比率级别定为“好”。

（4）比率对钻石切工的影响

1）台面大小对钻石切工的影响　台面是钻石当中最大、最显著一个刻面，台面的大小对钻石的亮度和火彩都有直接的影响，台宽比则是衡量台面大小的重要数值。正常情况下台宽比应在“很好”的范围内。随着台面的增大，钻石亮度增加但火彩会逐渐降低；而台面减小，会使钻石的火彩增强但亮度降低（见图3-1-106）。


图3-1-106 钻石台宽比对亮度和火彩的影响

2）亭部深度对钻石切工的影响　亭部深度也是直接影响钻石切工的重要因素，正常的亭深比应在41.5%～45.0%范围内变化，如果亭深比低于40%则会产生“鱼眼效应”。所谓“鱼眼”是指从钻石台面观察可以看到在钻石的台面内有一个白色的圆环，环内则为暗视域，像鱼的眼睛一样。这是由于亭深过浅使钻石腰围在亭部成像形成一个闭合的白色圆环，白色是粗面腰围的特点（见图3-1-107）。如果钻石的亭深过大，则会使钻石产生“黑底”现象，即从钻石冠部观察，钻石亭部是暗淡无光的，又称为“死石”。黑底是由于亭部角度太大，使从钻石冠部入射的光线在亭部刻面时的入射角小于钻石的临界角，从而使光线不能发生全反射而从钻石的亭部漏掉，正是这种漏光才产生黑底（见图3-1-108）。

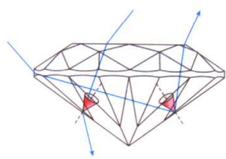


图3-1-107 鱼眼效应

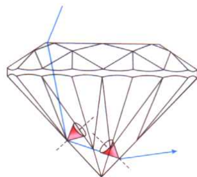


图3-1-108 黑底效应

3）其他比率值对钻石切工的影响　一粒钻石一旦被切割好，其各个比率值都是彼此相互联系着的。例如，冠部角不变，台面宽度变大，就会使冠部高度变小；反之，台宽变小，会使冠部高度变大。同样的，如果一颗钻石冠高和亭深是确定的，其全深比越大，则说明腰越厚。正常情况下钻石的腰厚比应在2.0%～4.5%之间，如果腰厚过大会使钻石显得过于笨重，过厚的腰会使相同质量的钻石上看起来要比薄腰的钻石小；但腰厚太小使腰围较尖锐，很容易造成腰围的破损以至影响钻石的整体外观。

4. 修饰度

（1）修饰度的定义

修饰度指对钻石抛磨工艺的评价，即指钻石切磨工艺优劣程度，是评价钻石切工的另一个重要的方面。修饰度通常包括抛光质量和对称性偏差两个方面的内容。

1）抛光质量　抛光质量包括钻石表面的抛光纹和烧痕两项，在钻石净度分级的外部特征中都已提及，在此不再赘述。

2）对称性偏差　对称性偏差是指抛光钻石在对称性方面出现的问题。常见对称性偏差类型包括（见图3-1-109）：

不圆　从不同的位置测量，钻石腰围直径不等。钻石腰围不圆是较常见的现象，一般来说，腰围的最大直径和最小直径之间相差超过平均直径的百分之二，即视为不圆（见图3-1-109（a））。

冠部与亭部刻面尖点不齐　从腰部观察，冠部刻面的交汇点与相应的亭部刻面交汇点不在同一垂直方向上。这种偏差是由于在打磨上下主刻面时，旋转角度不同而使上、下相应的主刻面发生错位，进而导致其他的刻面及其交汇点发生错动（见图3-1-109（b））。

刻面尖点不够尖锐　刻面的棱线没有在适当的位置上交汇成一个点。最常见的是冠部与亭部主刻面的棱线在腰围处呈开放状或提前闭合，造成这种偏差的主要原因是在打磨刻面时角度掌握不当（见图3-1-109（c））。

同名刻面大小不均等　在同一颗钻石上，同名刻面大小不均一。其中以冠部同名刻面大小不均一较为严重（见图3-1-109（d））。

台面倾斜　正常情况下，钻石的台面和腰围所在平面应是平行的。但如果切磨失误，会

造成台面和腰平面不平行，这两个平面呈一定的夹角，这种偏差是较严重的修饰偏差，可影响钻石的亮度和火彩（见图 3-1-109（e））。

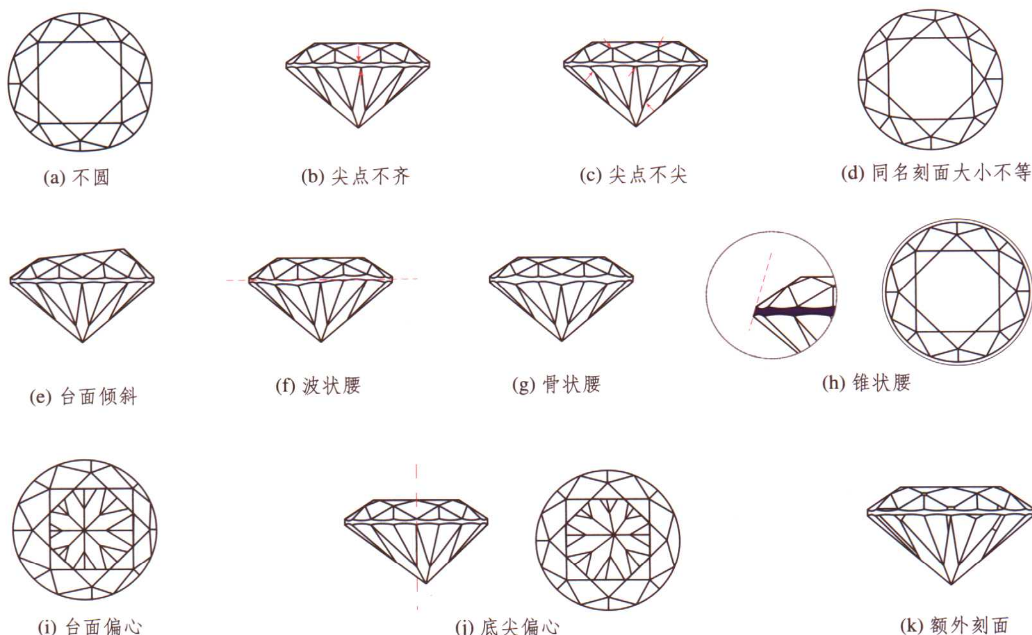


图 3-1-109 常见的修饰偏差类型

波状腰　所谓波状腰是指腰围所在的平面不是一个与台面平行的平面，而呈上下波浪起伏状（见图 3-1-109（f））。波状腰会造成钻石的“领结效应”。“领结效应”是指由于波状腰造成亭部角度变化，在亭部相对应的两个方向上漏光，出现的黑暗区域，形似领结（见图 3-1-110）。

骨状腰　腰围的最大厚度有规律的变化或更确切地说相邻两个腰围最大厚度相差较大，形似一头粗大一头细小骨骼状（见图 3-1-109（g））。骨状腰会导致单翻效应，从台面观察钻石的亭部刻面出现明暗相间的现象（见图 3-1-111）。

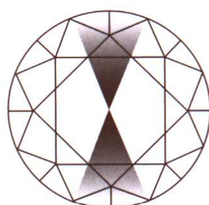


图 3-1-110 钻石的“领结效应”

锥状腰围　锥状腰围是指钻石的腰围不是一个圆柱体，而是锥体。锥状腰围是由于冠部或亭部比例不当，主要是冠部过高或亭深过大时对钻石进行重新切割时造成的。之所以将腰围切割成锥状，是为了最大限度地保持其原有质量。在10倍放大镜下从冠部或亭部观察钻石的锥状腰围呈一个“白色的轮圈”状（见图 3-1-109（h））。

台面偏心　台面偏心是指台面不居中，向边部偏离（见图3-1-109（i））。台面偏心将直接导致同名刻面大小不等，同时也会影响台宽比的目估。

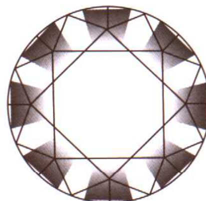


图 3-1-111 钻石的“单翻效应”

底尖偏心　从侧面观察钻石，底尖不在中心对称点上，从台面观察底尖偏离台面中心点（见图 3-1-109（j））。

额外刻面　规定刻面以外的所有多余的刻面都称为额外刻面。额外刻面是由于切割不当造成的，通常多出现在腰部附近的亭部或冠部

（见图3-1-109（k））。当额外刻面从钻石的台面观察看不到时，通常对其切工影响不大，而能从冠部观察到的额外刻面不仅影响钻石的切工，甚至会影响到钻石的净度级别（如LC级）。

（2）修饰度级别

在10倍放大镜下将修饰度级别分为：很好、好、一般三个级别。

很好　仅有抛光纹。

好　　仅有抛光纹、不圆，或仅有不圆。

一般　除了上述两项，还有其他偏差。

5.花式钻石的切工评估简介

花式钻石的切工评价可参考标准圆钻型的切工评价，主要从以下几个方面进行：

（1）长宽比

花式钻石切工的长宽比是指钻石腰围最大长度和最大宽度之间的比，表3-1-10列出了几种主要花式钻石切工的长宽值及评价。

表3-1-10　花式钻石切工的比率评价

形状	太短	一般	适当	一般	太长
祖母绿型	< 1.25 : 1	1.25 : 1～1.5 : 1	1.5 : 1～1.75 : 1	1.75 : 1～2.0 : 1	> 2.0 : 1
心型		< 1:1	1 : 1	1 : 1～1.25 : 1	> 1.25 : 1
橄榄型	< 1.5 : 1	1.5 : 1～1.75 : 1	1.75 : 1～2.25:1	2.25 : 1～2.5 : 1	> 2.5 : 1
椭圆型	< 1.25 : 1	1.25 : 1～1.33 : 1	1.33 : 1～1.66 : 1	1.66 : 1～1.75 : 1	> 1.75 : 1
梨型	< 1.25 : 1	1.25 : 1～1.5 : 1	1.5 : 1～1.75 : 1	1.75 : 1～2.0 : 1	> 2.0 : 1

（2）全深比

花式切工的全深比定义为：（总深度／最大宽度）× 100%。不同的切工有不同的全深比，但总的来说，花式切工的全深比应该在60%～65%之间变化，如果超出这一范围，则说明钻石过厚或过薄，比率不当。

（3）外形轮廓的修饰

花式切工外形轮廓是否均匀、对称，形状是否

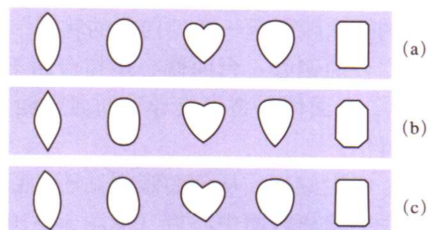


图3-1-112　花式切工的修饰评价

（a）为理想的腰围轮廓；（b）为腰围轮廓曲度不协调；（c）为腰围轮廓不对称

完美亦很重要。图 3-1-112 中说明了不同切工的外形修饰。

（六）钻石的质量分级

在钻石的 4C 分级中最重要而又最简单的就是质量分级。通常以直接称量为准。

1. 钻石的质量单位

1）克（g）　是我国法定计量单位，钻石的质量用“克”来表示时，要求精确到 0.0001g。

2）克拉（ct）　是国际通用的的宝石质量单位，源于地中海杨槐树（Carab）的干果。因为这种干果每颗重量都非常相近，约 0.205g，所以过去被人们用做称量钻石的砝码。1914 年，由法国国家度量衡局长乔姆提出 1ct 为 200mg。故有：

1ct=200mg=0.2g　1g=5ct

抛光钻石的质量用“克拉”来表示时，要求精确到小数点后两位，第三位八舍九入。如 0.998ct 应记为 0.99ct；而 0.999ct 则可记为 1.00ct。

3）分（pt）　是国际通用的的宝石质量单位，多用于小于 1ct 钻石质量的计量。

1ct=100pt

4）格令(grain)　是国际通用的宝石质量单位，主要用于钻石批发中。

1 格令 =1/4 克拉（0.25ct）=25pt

格令也常用来表示钻石的近似质量范围。如：1 格令钻石的质量范围为 0.23～0.26ct，2 格令钻石的质量范围为 0.47～0.56ct。

5）粒 /ct　在钻石的批发贸易中，对于碎钻也用每克拉多少粒来表示其质量，如每克拉 20 粒表示每粒钻石的平均质量约为 5 分。

2. 钻石质量的表示方法

目前我国的钻石分级国家标准中还没有涉及钻石的质量分级，钻石质量以实际称量为准，没有负公差。钻石质量以克为单位，精确到小数点后第四位；质量数值后的括号内可注明相应的克拉值，精确到小数点后第二位，第三位八舍九入。例如：0.2000g（1.00ct）。

（1）钻坯质量分级（商业分级）

超大钻：≥ 10.80ct。通常≥ 50ct 的钻石都会被单独命名，也称作记名钻，如质量为 158.78ct 的“常林钻石”。

大钻：2.0～10.79ct。

中钻：0.75～1.99ct（格令钻）。

小钻：0.74ct，每克拉 6 粒。

混合小钻：≤ 0.73ct，每克拉 7～40 粒。

（2）抛光钻石的质量分级（商业分级）

大钻：≥ 1ct。

中钻：0.25～0.99ct。

小钻：0.05～0.24ct。

碎钻：≤ 0.04ct。

3. 钻石质量的估算

（1）抛光钻石质量的计算公式

对于抛光钻石，由于钻石具有很高的加工工艺要求，各种比例和角度都有严格的规定，测量其平均直径、全深等尺寸即可估算出钻石的近似质量。

标准圆钻型钻石质量公式（计算公式中，质量单位D为克拉，长度单位为毫米）：

$$D=\text{平均直径}^2\times\text{全深}\times\begin{cases}0.0061 & \text{极薄腰}\\0.0062 & \text{薄腰}\\0.0063 & \text{腰适中}\\0.0064 & \text{厚腰}\\0.0065 & \text{极厚腰}\end{cases}$$

椭圆型钻石重量公式：

$$D=\text{平均直径}^2\times\text{全深}\times 0.0062$$

心型钻石重量公式：

$$D=\text{长}\times\text{宽}\times\text{全深}\times 0.0059$$

三角型钻石重量公式：

$$D=\text{长}\times\text{宽}\times\text{全深}\times 0.0057$$

长方型钻石重量公式：

$$D=\text{长}\times\text{宽}\times\text{全深}\times 0.00915$$

梯型钻石重量公式：

$$D=（\text{上底}+\text{下底}）/2\times\text{梯形高}\times\text{全深}\times 0.00915$$

祖母绿型钻石重量公式：

$$D=\text{长}\times\text{宽}\times\text{全深}\times\begin{cases}0.0080 & \text{长宽比为}\ 1:1\ \text{时}\\0.0092 & 1.5:1\ \text{时}\\0.0100 & 2.0:1\ \text{时}\\0.0106 & 2.5:1\ \text{时}\end{cases}$$

马眼型钻石重量公式：

$$D=\text{长}\times\text{宽}\times\text{全深}\times\begin{cases}0.00565 & \text{长宽比为}\ 1.5:1\\0.00580 & 2.0:1\\0.00585 & 2.5:1\\0.00595 & 3.0:1\end{cases}$$

梨型钻石重量公式：

$$D=\text{长}\times\text{宽}\times\text{全深}\times\begin{cases}0.00615 & \text{长宽比为}\ 1.25:1\\0.00600 & 1.5:1\\0.00590 & 1.66:1\\0.00575 & 2:1\end{cases}$$

（2）标准圆钻型钻石的直径与重量对照表

对于镶嵌钻石（标准圆钻型），如果钻石高度无法测量，只根据其腰围平均直径亦可估算出其近似质量（见表3-1-11）。

表 3-1-11 标准圆钻型钻石的直径与质量对照表

腰围直径 / mm	质量 / ct	腰围直径 / mm	质量 / ct
1.3	0.01	4.4	0.32
1.7	0.02	4.6	0.36
2.0	0.03	4.7	0.38
2.2	0.04	4.8	0.40
2.4	0.05	5.1	0.50
2.6	0.06	5.5	0.6
2.7	0.07	5.7	0.7
2.8	0.08	6.0	0.80
2.9	0.09	6.2	0.9
3.0	0.10	6.5	1.00
3.1	0.11	6.6	1.05
3.2	0.12	6.8	1.15
3.3	0.14	7.0	1.26
3.4	0.15	7.2	1.36
3.5	0.16	7.4	1.49
3.6	0.17	7.6	1.61
3.7	0.18	7.8	1.74
3.8	0.20	8.0	1.88
3.9	0.22	8.2	2.00
4.0	0.24	8.8	2.50
4.1	0.25	9.2	3.00
4.2	0.28	9.8	3.50
4.3	0.30	10.2	4.00

（3）简易经验公式

对于镶嵌钻石（标准圆钻型），如果钻石高度无法测量，只根据其腰围平均直径亦可估算出其近似质量。

$$质量 = (平均直径/6.5)^3$$

4. Rapaport 国际钻石报价表

美国纽约Rapaport国际钻石报价表是现在钻石批发贸易中普遍参考的，钻石的4C与价格的对照表。标准圆型钻石的价格每周发表一次；花式钻石每月第一周五发布一次（以梨型钻石为基准）。

该报价表中横坐标为净度；纵坐标为颜色；切工以好的切工为标准；价格单位是“100$/ct”，钻石的质量分为0.01～0.03、0.04～0.07、0.08～0.14、0.15～0.17、0.18～0.22、0.23～0.29、0.30～0.37、0.38～0.45、0.46～0.49、0.50～0.69、0.70～0.89、0.90～0.99、1.0～1.49、1.5～1.99、2.0～2.99、3.0～3.99、4.0～4.99、5.0～5.99ct 等多个等级，又称为“克拉台阶”（见表 3-1-12a，表 3-1-12b）。

表 3-1-12a 国际钻石报价单

RAPAPORT 钻石报价单

电话：877-987-3400 ◆ 网站：www.RAPAPORT.com ◆ 邮箱：info@RAPAPORT.com

2006年1月20日 29卷3号 现金批发高开价

纽约报价 单位：100$/ct

圆钻型

（0.01-0.03克拉）01/20/06

	IF-VVS	VS	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D-F	8.5	7.4	6.1	5.5	4.9	4.2	3.9	2.7
G-H	7.4	6.6	5.5	4.9	4.3	3.8	3.4	2.5
I-J	6.7	6.0	5.0	4.4	3.9	3.5	3.1	2.1
K-L	5.0	4.3	3.6	3.3	2.8	2.2	1.8	1.4
M-N	3.7	2.9	2.3	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9

（0.04-0.07克拉）01/20/06

	IF-VVS	VS	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3	
D-F	8.9	7.7	6.3	5.8	5.1	4.5	4.1	3.0	D-F
G-H	8.0	7.0	5.7	5.2	4.6	4.1	3.7	2.6	G-H
I-J	7.0	6.2	5.2	4.7	4.2	3.8	3.4	2.3	I-J
K-L	5.3	4.6	4.0	3.6	3.1	2.6	2.3	1.6	K-L
M-N	3.9	3.4	2.6	2.4	2.0	1.8	1.4	1.0	M-N

圆钻型

（0.08-0.14克拉）01/20/06

	IF-VVS	VS	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D-F	11.3	9.8	8.2	7.3	6.6	5.5	4.6	3.5
G-H	10.2	8.4	7.3	6.6	6.0	4.9	4.0	3.1
I-J	9.0	7.2	6.5	5.9	5.2	4.3	3.6	2.7
K-L	6.8	5.8	4.9	4.3	3.6	3.0	2.4	1.8
M-N	4.8	4.0	3.5	3.1	2.8	2.3	1.7	1.3

（0.15-0.17克拉）01/20/06

	IF-VVS	VS	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3	
D-F	15.1	13.1	10.1	8.6	7.0	5.8	4.8	3.7	D-F
G-H	13.6	11.2	9.1	7.3	6.3	5.1	4.3	3.3	G-H
I-J	11.1	9.6	7.8	6.5	5.6	4.5	3.9	3.0	I-J
K-L	8.6	7.2	5.9	5.2	4.2	3.3	2.6	1.9	K-L
M-N	5.7	4.8	4.0	3.5	3.2	2.6	1.8	1.4	M-N

圆钻型

（0.18-0.22克拉）01/20/06

	IF-VVS	VS	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D-F	16.0	13.6	11.5	10.0	8.9	6.7	5.6	4.0
G-H	14.5	12.5	10.5	9.3	7.9	6.0	5.1	3.5
I-J	12.0	10.5	9.0	8.0	6.8	5.3	4.3	3.1
K-L	10.0	8.2	7.4	6.3	5.6	4.3	3.3	2.2
M-N	8.3	6.6	5.9	5.1	4.5	3.2	2.6	1.6

（0.23-0.29克拉）01/20/06

	IF-VVS	VS	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3	
D-F	23.2	17.5	14.0	11.5	10.0	8.1	6.7	4.8	D-F
G-H	18.1	14.8	12.5	10.7	9.5	7.8	6.5	4.2	G-H
I-J	14.1	11.6	10.5	9.5	8.5	6.7	5.2	3.3	I-J
K-L	11.5	10.0	8.6	8.1	7.2	5.5	4.2	2.8	K-L
M-N	9.5	8.5	7.1	6.1	5.6	4.2	3.0	2.1	M-N

大于0.30克拉切工完美的钻石比一般切工的钻石价格要高10%20%

圆钻型

（0.30-0.37克拉）01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	45	39	34	31	28	21	17	15	13	10	7
E	40	36	32	29	26	20	16	15	12	9	6
F	37	34	29	27	24	19	15	14	11	8	6
G	35	31	27	24	21	17	14	13	10	8	5
H	30	26	22	19	17	15	13	12	9	7	5
I	23	20	19	17	15	14	12	11	9	7	5
J	18	17	16	14	13	12	11	10	8	7	4
K	17	16	15	13	12	11	10	9	8	6	4
L	13	12	12	11	11	10	9	7	6	5	3
M	11	11	10	9	9	8	7	6	5	4	3

W：29.72=-3.26%　　T：15.36=-3.21%

（0.38-0.45克拉）01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3	
D	48	42	37	33	29	23	20	18	15	11	8	D
E	42	39	35	31	27	22	19	17	14	10	7	E
F	40	37	32	29	25	21	18	16	14	10	7	F
G	37	33	29	26	23	20	17	15	13	9	6	G
H	32	29	25	23	21	18	16	14	12	9	6	H
I	27	24	23	21	19	16	14	13	11	8	6	I
J	22	21	20	18	16	14	13	12	10	8	5	J
K	21	20	19	17	15	13	12	11	9	7	5	K
L	18	17	16	15	14	12	11	10	8	6	4	L
M	15	14	13	12	12	10	9	8	7	5	3	M

W：32.16=-3.02%　　T：17.80=-2.78%

0.60-0.69克拉的钻石比0.50克拉的钻石价格高7%-10%

圆钻型

（0.46-0.49克拉）01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	54	48	44	39	32	25	22	20	17	12	9
E	48	44	40	37	30	24	21	19	16	11	8
F	45	40	36	33	28	23	20	18	15	11	8
G	41	37	33	30	26	22	19	17	14	10	7
H	35	31	29	26	24	20	17	16	13	10	7
I	30	26	24	18	21	18	16	15	12	9	7
J	24	23	22	17	18	17	15	14	11	9	6
K	21	20	19	14	15	14	13	12	10	8	6
L	18	17	16	13	14	13	12	11	9	7	5
M	16	15	14	12	13	12	11	10	8	6	4

W：36.40=-2.67%　　T：19.76=-2.16%

（0.50-0.69克拉）01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3	
D	74	59	53	46	42	36	29	26	20	15	10	D
E	59	53	49	44	41	34	27	24	19	14	9	E
F	53	49	46	41	37	31	25	22	8	13	9	F
G	49	44	41	38	33	28	22	20	16	12	8	G
H	44	39	35	32	28	25	20	19	15	11	8	H
I	36	32	29	26	24	21	19	18	14	11	8	I
J	28	26	25	22	21	19	18	16	13	11	7	J
K	25	24	23	20	19	17	16	15	12	10	7	K
L	22	21	21	19	19	17	15	14	10	9	6	L
M	19	18	18	17	17	15	14	12	9	8	5	M

W：45.16=-3.52%　　T：24.28=-2.38%

W代表优质钻石(D~H/IF~VS2)，“=”前面的数字是平均单价，“=”后面的数字是与上次相比价格涨落的幅度，“+”为涨，“-”为落；
T代表D~M/IF~I3所有表列的钻石，“=”前面的数字是大平均单价，“=”后面的数字是与上次相比价格涨落的幅度，“+”为涨，“-”为落。

表 3-1-12b 国际钻石报价单

RAPAPORT 钻石报价单

电话：877-987-3400 ◆ 网站：www.RAPAPORT.com ◆ 邮箱：info@RAPAPORT.com

2006年1月20日 29卷3号 现金批发高开价

纽约报价 单位：100$/ct

0.80-0.89克拉，0.95-0.99克拉，2.50+克拉，3.50+克拉，4.50+克拉的钻石价格比本表列出价格高5%-10%

圆钻型 (0.70-0.89克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	88	69	63	55	53	48	43	35	28	18	11
E	69	64	57	52	50	46	41	33	27	17	11
F	63	59	53	49	47	43	38	32	26	16	10
G	58	53	50	46	44	40	35	31	25	16	9
H	53	48	45	42	40	37	34	29	23	15	9
I	44	41	39	37	35	33	29	26	22	14	9
J	35	34	33	31	30	29	27	23	20	13	8
K	31	30	29	27	26	24	22	19	16	12	8
L	25	24	23	22	22	21	19	16	12	10	7
M	23	22	21	20	20	19	18	15	11	9	6

W：54.84=-2.90% T：31.25=-1.66%

1.25-1.49克拉的钻石价格比1.00克拉的钻石价格高5%-10%

圆钻型 (0.90-0.99克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	105	85	80	71	65	61	53	42	33	23	13
E	85	80	74	65	62	58	51	40	32	22	12
F	81	76	70	62	60	55	49	39	31	21	12
G	75	69	65	59	57	52	46	37	30	20	11
H	67	63	60	56	54	48	44	35	28	19	11
I	56	53	50	48	46	43	39	32	26	18	10
J	48	46	44	42	40	38	35	29	24	17	10
K	39	38	37	35	33	31	28	24	19	15	9
L	33	32	31	30	28	27	25	22	17	13	8
M	30	29	28	27	26	25	23	20	16	12	8

W：69.84=0.00% T：39.87=0.00%

1.70-1.99克拉的钻石价格比1.50克拉的钻石价格高7%-12%

圆钻型 (1.00-1.49克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	181	128	115	93	84	70	59	49	41	27	15
E	125	116	101	88	80	66	56	46	39	26	14
F	115	104	96	4	77	63	53	44	37	25	13
G	97	91	88	78	72	59	51	42	36	24	12
H	76	73	70	66	62	57	50	41	34	23	12
I	65	63	60	56	53	50	45	38	31	21	11
J	54	53	52	49	46	44	41	33	27	19	11
K	49	48	47	44	40	38	34	30	25	17	10
L	44	43	42	40	37	35	31	28	23	15	9
M	37	36	35	33	30	28	25	22	19	14	9

W：94.36=0.00% T：49.84=0.00%

圆钻型 (1.50-1.99克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	208	153	143	122	113	95	78	63	48	29	16
E	153	144	129	117	108	92	75	60	46	28	15
F	143	131	125	112	104	87	70	58	44	27	14
G	120	114	109	103	96	79	65	54	42	26	13
H	95	91	88	84	81	74	62	50	40	25	13
I	82	80	78	75	70	65	56	46	38	23	12
J	69	67	65	62	57	54	48	39	32	21	12
K	58	56	54	52	48	45	41	36	29	19	11
L	50	48	46	45	42	40	36	32	26	18	10
M	43	42	41	40	36	33	30	27	22	16	10

W：119.44=0.00% T：61.88=0.00

圆钻型 (2.00-2.99克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	326	260	237	197	161	127	104	75	57	32	17
E	254	237	203	178	155	124	101	73	55	31	16
F	233	204	186	166	151	120	98	70	53	30	15
G	191	175	159	153	140	113	94	66	50	29	15
H	149	135	129	124	116	101	88	61	47	28	14
I	117	114	110	103	95	88	79	56	45	26	13
J	94	90	88	82	76	71	66	49	39	23	13
K	79	77	75	71	65	60	56	44	34	22	12
L	63	61	59	56	49	45	41	36	29	21	11
M	53	52	51	49	40	37	34	31	24	19	11

W：184.76=0.00% T：86.61=0.00%

圆钻型 (3.00-3.99克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	476	360	319	260	215	161	120	86	71	37	19
E	355	314	264	224	197	153	115	82	66	36	18
F	315	263	226	206	188	145	111	78	62	34	17
G	249	215	199	191	166	133	108	74	59	32	16
H	192	173	165	153	137	115	101	68	55	31	16
I	147	138	132	123	107	101	88	62	51	29	15
J	117	112	108	100	92	86	76	55	45	26	14
K	102	98	94	86	77	71	63	48	40	24	14
L	77	74	71	67	59	53	45	39	31	23	13
M	65	63	61	58	51	47	40	35	27	21	13

W：241.12=0.53% T：107.46=0.27%

圆钻型 (4.00-4.99克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	531	407	362	292	244	188	141	98	78	41	21
E	404	362	301	256	223	178	135	93	73	40	20
F	359	300	265	236	213	168	131	88	69	38	19
G	288	251	230	219	187	153	128	83	65	36	18
H	217	201	186	176	153	133	117	77	61	34	18
I	168	157	150	143	130	118	105	73	58	32	17
J	136	130	125	117	109	100	91	63	51	30	16
K	118	113	109	101	92	84	77	56	45	27	15
L	87	83	80	76	68	60	52	46	36	26	14
M	73	71	69	66	60	54	47	42	32	23	14

W：274.48=0.47% T：123.08=0.24%

圆钻型 (5.00-5.99克拉) 01/20/06

	IF	VVS1	VVS2	VS1	VS2	SI1	SI2	SI3	I1	I2	I3
D	664	489	433	364	295	234	171	112	81	46	23
E	486	433	371	323	274	214	166	106	76	44	21
F	431	371	335	297	249	194	161	102	73	42	20
G	360	323	292	262	224	180	152	97	69	40	19
H	288	261	236	215	189	157	134	86	64	38	18
I	219	209	197	178	158	130	117	76	58	36	17
J	158	153	149	142	127	113	103	65	52	34	16
K	129	125	120	113	104	97	86	58	47	31	16
L	93	88	84	80	71	68	60	50	41	28	15
M	78	75	73	70	61	59	54	44	35	25	15

W：338.60=0.62% T：146.41=0.32%

0.60-0.69克拉，0.80-0.89克拉，0.96-0.99克拉，1.25-1.49克拉，1.76-1.99克拉，2.50-2.99克拉的钻石价格可能比本表列出的高5%-10%

W代表优质钻石(D~H/IF~VS2)，“=”前面的数字是平均单价，“=”后面的数字是与上次相比价格涨落的幅度，“+”为涨，“-”为落；
T代表D~M/IF~I3所有表列的钻石，“=”前面的数字是大平均单价，“=”后面的数字是与上次相比价格涨落的幅度，“+”为涨，“-”为落。

由表中可见每一个质量等级范围内同一净度、同一颜色的钻石价格是一样的。该表中还表示出与上次报价相比的价格涨落情况，涨价用粗体表示；降价用斜体表示，并在表格的下面列出平均价和涨落幅度。在钻石实际交易中，根据交易量的多少会有一定的折扣。

（七）镶嵌钻石分级

1. 概述

对于镶嵌钻石进行分级是我国的一个创举。1996年，根据我国钻石市场的实际情况，制定了镶嵌钻石的分级规则（见表3-1-13）。

表3-1-13 镶嵌钻石品质等级表

<table>
<tr><th colspan="2">净度级别
颜色级别</th><th>无瑕LC</th><th>极微瑕VVS</th><th>微瑕VS</th><th>瑕疵SI</th><th>重瑕疵P</th></tr>
<tr><td rowspan="4">优白</td><td>D</td><td rowspan="4">极好</td><td rowspan="4">极好</td><td rowspan="4">很好</td><td rowspan="4">好</td><td rowspan="4">一般</td></tr>
<tr><td>E</td></tr>
<tr><td>F</td></tr>
<tr><td>G</td></tr>
<tr><td rowspan="3">白</td><td>H</td><td rowspan="3">极好</td><td rowspan="3">很好</td><td rowspan="3">好</td><td rowspan="3">好</td><td rowspan="3">一般</td></tr>
<tr><td>I</td></tr>
<tr><td>J</td></tr>
<tr><td rowspan="4">浅黄白</td><td>K</td><td rowspan="4">很好</td><td rowspan="4">好</td><td rowspan="4">较好</td><td rowspan="4">一般</td><td rowspan="4">一般</td></tr>
<tr><td>L</td></tr>
<tr><td>M</td></tr>
<tr><td>N</td></tr>
</table>

几年来，随着国内钻石消费水平的日益提高，上述的镶嵌钻石分级规则已不能完全适应市场的需求，为此，2003年对原来的分级规则做了一些调整，取消了镶嵌钻石的品质等级，增加了切工的内容，并对颜色等级做了一些调整。

2. 镶嵌钻石分级

（1）镶嵌钻石的颜色级别

镶嵌钻石颜色的确定与未镶嵌钻石一样都采用比色法进行分级，共分为7个级别，镶嵌钻石与未镶嵌钻石颜色级别的对应关系详见表3-1-14。

表3-1-14 镶嵌钻石未镶嵌钻石颜色等级对照表

<table>
<tr><td>镶嵌钻石颜色等级</td><td colspan="2">D－E</td><td colspan="2">F－G</td><td>H</td><td colspan="2">I－J</td><td colspan="2">K－L</td><td colspan="2">M－N</td><td><N</td></tr>
<tr><td>对应的未镶嵌钻石颜色级别</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>G</td><td>H</td><td>I</td><td>J</td><td>K</td><td>L</td><td>M</td><td>N</td><td><N</td></tr>
</table>

镶嵌钻石的颜色分级注意事项：

1）颜色分级应考虑金属托对钻石颜色的影响。通常白色的钻石用白色的金属镶嵌，而带黄色的钻石则用黄色的金属镶嵌，这样会使钻石的颜色显得更淡一些，应注意加以修正。

2）比色时最好用与镶嵌金属相同颜色的钻石爪或镊子夹住比色石，与镶嵌钻石比较相同的部位（见图3-1-113）。

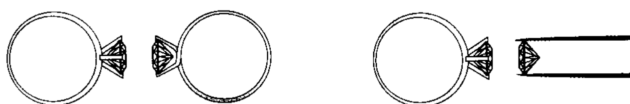


图3-1-113 镶嵌钻石的比

3）因为底尖被遮挡，不容易比较，往往是比较腰部甚至台面（如包镶时）。此时要注意钻石大小对颜色的影响。

4）因为镶嵌钻石不容易比色，所以其色级等级是一个较宽的范围。

（2）镶嵌钻石的净度级别

镶嵌钻石的净度分级方法与未镶嵌钻石的净度分级方法类似。因为镶嵌的缘故，在10倍放大镜下镶嵌钻石净度分为：LC、VVS、VS、SI、P五个级别。

镶嵌钻石的净度分级要充分考虑镶嵌部位对钻石内外部特征的遮挡影响，所以只定大级不分小级，而对LC级及VVS级的确定要倍加细致小心，原则上不定LC级。

（3）镶嵌钻石的切工测量与描述

对满足切工测量的镶嵌钻石，采用10倍放大镜目测法或仪器测量法，测量台宽比、亭深比等比率要素。一般比率只写级别范围，如台宽比53.0%～66.0%，亭深比40.0%～41.0%。

对满足切工测量的镶嵌钻石，采用10倍放大镜目测法，对影响修饰度的要素加以描述。通常只描述比较严重的修饰度偏差。

（4）镶嵌钻石的质量

在钻石镶嵌之前，加工厂会将钻石的质量称量，待镶嵌完成后，将钻石的质量直接打印在首饰的金属托上。但该质量只能作为参考值，除非将钻石拆下重新称量。

对于未将钻石重量标出的，我们也可以通过测量钻石的直径与全深，根据公式计算求得该钻石的近似质量。

第二节 刚玉（红宝石、蓝宝石）

刚玉矿物的宝石品种有红宝石、蓝宝石，它们是世界上公认的两大珍贵彩色宝石品种。红宝石的英文为“Ruby”，在圣经中红宝石是所有宝石中最珍贵的。红宝石炽热的红色使人们总把它和热情、爱情联系在一起，被誉为“爱情之石”，象征着热情似火，爱情的美好、永恒和坚贞。红宝石是七月的生辰石。蓝宝石的英文名称是“Sapphire”，古波斯人相信是蓝宝石反射的光彩使天空呈现蔚蓝色，它被看作是忠诚和德高望重的象征。蓝宝石是九月的生辰石。

一、刚玉宝石的基本性质

（一）矿物名称

刚玉（Corundum），在矿物学上属刚玉族。

（二）化学成分

刚玉的化学成分为铝的氧化物（Al_2O_3），可含有微量的杂质元素Fe、Ti、Cr、Mn、V等。杂质元素可以等价离子或异价离子形式代替晶格中的Al^{3+}，也可以机械混入物形式存在于晶体中。

（三）晶系及结晶习性

刚玉属三方晶系，晶格中O^{2-}作六方最紧密堆积，堆积层垂直于3次轴，Al^{3+}充填了由O^{2-}形成的八面体空隙数的2/3，[AlO_6] 八面体以棱连接成层，并沿Z轴方向呈三次螺旋对称（见图3-1-114）。

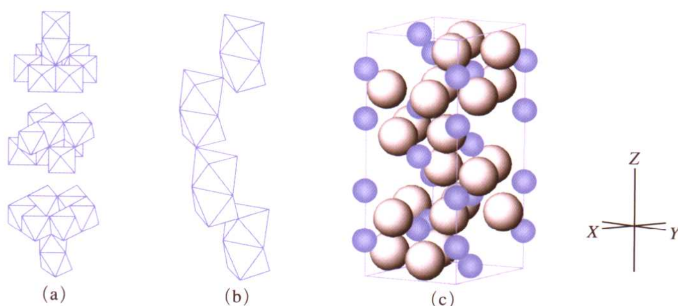


图3-1-114 刚玉晶体结构

(a) 菱面体晶胞中 [AlO_6] 八面体的排列；(b) [AlO_6] 八面体沿Z轴呈三次螺旋对称；(c) 立体示意图（蓝色为铝离子、白色为氧离子）

刚玉属复三方偏三角面体晶类，晶体常呈桶状、柱状，少数呈板状或叶片状（见图3-1-115）。重要单形有六方柱$a\{11\bar{2}0\}$，六方双锥$z\{22\bar{4}1\}$、$n\{22\bar{4}3\}$、$w\{14\cdot14\cdot\overline{28}\cdot3\}$，菱面体$r\{10\bar{1}1\}$，平行双面$c\{0001\}$。在$\{10\bar{1}1\}$晶面上，具有平行$\{10\bar{1}1\}$和$\{22\bar{4}3\}$交棱的花纹。

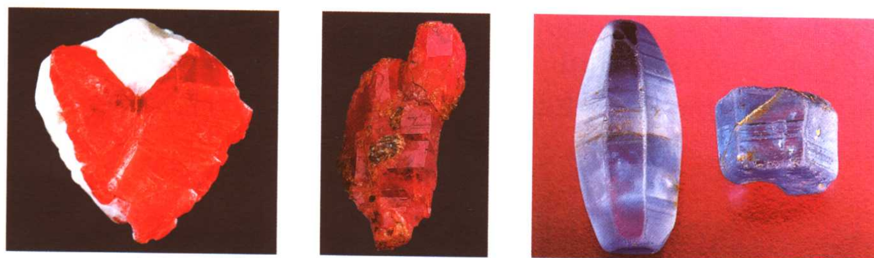


图3-1-115 刚玉的晶体

阿富汗红宝石（双晶）；斯里兰卡蓝宝石

刚玉中的双晶有两种：一是在晶体生长过程中形成的生长双晶；二是在机械作用下面网滑动形成的机械双晶。刚玉的生长双晶只在特定的产地可见，例如斯里兰卡和克什米尔，而绝大多数刚玉宝石的双晶是由于面网滑动、晶格变形造成的简单接触双晶或聚片双晶。刚玉宝石的聚片双晶通常平行$\{10\bar{1}1\}$，少数情况下平行$\{0001\}$（见图3-1-116）。

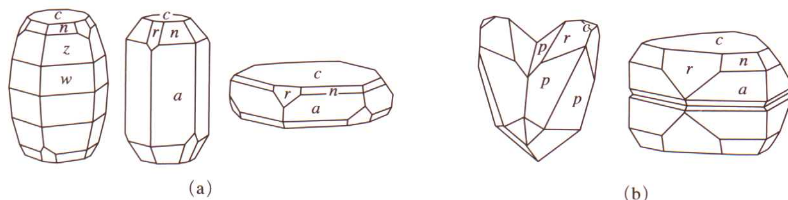


图3-1-116 刚玉的晶体

(a) 单晶；(b) 双晶

$c\{0001\}$；$a\{11\bar{2}0\}$；$z\{22\bar{4}1\}$；$n\{22\bar{4}3\}$；$w\{14\cdot14\cdot\overline{28}\cdot3\}$；$r\{10\bar{1}1\}$

刚玉的单晶形态与形成条件有关。板状晶体多产于富硅、贫碱的接触变质岩中；柱状、桶状晶体多产于贫硅、富碱的碱性橄榄玄武岩中，且多具深色熔蚀壳。

（四）光学性质

1. 颜色

刚玉宝石的颜色十分丰富，它几乎包括了可见光光谱中的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的所有颜色。刚玉属他色矿物，纯净时无色，当晶格中含有微量元素时可致色。不同的微量元素导致不同的颜色，其中Cr主要导致红色，而Fe、Ti的联合作用导致蓝色。刚玉中不同微量元素与颜色的对应关系见表3-1-15。

表3-1-15 致色元素与刚玉颜色对应关系表

着色剂	质量分数w_B/%	颜色	着色剂	质量分数w_B/%	颜色
Cr_2O_3	0.01～0.05	浅红	Cr_2O_3	0.01～0.05	金黄
Cr_2O_3	0.1～0.2	桃红	NiO	0.5	
Cr_2O_3	2～3	深红	Fe_2O_3	1.5	蓝
Cr_2O_3	0.2～0.5	橙红	TiO_2	0.5	
NiO	0.5		Co_2O_3	0.12	绿
TiO_2	0.5	紫	V_2O_5	0.3	
Fe_3O_4	1.5		NiO		
Cr_2O_3	0.1		V_2O_5		蓝紫（日光下）
NiO	0.5～1.0	黄			红紫（灯光下）

2. 光泽及透明度

抛光表面具亮玻璃光泽至亚金刚光泽，透明至不透明。

3. 光性

刚玉宝石为一轴晶负光性，个别情况下具有异常的二轴晶光性。

4. 折射率和双折射率

刚玉宝石的折射率值为1.762～1.770(＋0.009，－0.005)，双折射率值为0.008～0.010。

5. 多色性

除无色刚玉外，有色的刚玉宝石均具二色性，二色性的强弱以及色彩变化均取决于自身颜色及颜色深浅程度。常见红色刚玉宝石的二色性有：深红色—浅红色，红色—橙红色，紫红色—褐红色，玫瑰红色—粉红色；蓝色刚玉宝石的二色性有：深紫蓝色—蓝色，蓝色—浅蓝色，蓝色—蓝绿色，蓝色—灰蓝色；黄色刚玉宝石的二色性有：金黄色—黄色，橙黄色—浅黄色，浅黄色—无色。

6. 发光性

紫外荧光　在长波紫外线下红色刚玉宝石可具弱至强红色荧光，短波紫外线下可具微弱至中等红色的荧光。同一样品的长波紫外荧光强度大于短波紫外荧光强度。不同产地、不同颜色样品的紫外荧光特点随所含Cr、Fe含量的不同而变化。Cr含量高者红色荧光强而鲜艳，Fe含量高者荧光弱而暗。蓝色刚玉宝石一般无荧光，偶尔长波紫外光下可见红色至橙色荧光，短波下呈弱的白垩色或黄绿色荧光，斯里兰卡的一些黄色刚玉宝石可具杏黄或橙黄色荧光。

X射线荧光　在X射线照射下，红色刚玉宝石可发红色荧光，与紫外荧光特点相同。多数蓝色刚玉宝石无荧光，斯里兰卡一些品种可具较弱的橙色荧光。

一些主要产地刚玉宝石的发光特点见表3-1-16。

表 3-1-16 刚玉宝石的发光特点

不同产地的刚玉宝石	紫外荧光		X 射线荧光
	LW 紫外荧光	SW 紫外荧光	
缅甸红色刚玉宝石	鲜艳深红色	中等红色	深红色
斯里兰卡红色刚玉宝石	橘红色	中等橘红色	深红色
泰国红色刚玉宝石	暗红色	无色至弱红色	弱暗红色
泰国蓝色刚玉宝石	无	无	无
斯里兰卡浅蓝色刚玉宝石	浅橙色	无—弱橙色	无—微弱红色
斯里兰卡无色、黄色刚玉宝石	杏黄—橙黄色	浅黄—浅橙黄色	弱橙黄色

7. 查尔斯滤色镜

在查尔斯滤色镜下，红色刚玉宝石可显示不同程度的红色，而蓝色、黄色、绿色等刚玉宝石的颜色不变化。

交叉滤色镜下可看到红色刚玉宝石的红色荧光，当用黄色滤色片代替红色滤色片时，可以看到斯里兰卡黄色刚玉宝石的黄色荧光。

8. 吸收光谱

刚玉宝石根据所含杂质的不同而具有不同的吸收光谱。总体来讲，红色刚玉宝石具有694nm、692nm、668nm、659nm 吸收线，620～540nm 的吸收带，476nm、475nm 强吸收线，468nm 的弱吸收线，紫区全吸收。深红色红宝石的620～540nm吸收带可表现得很强烈，而浅色者此带相对弱以至模糊不清（见图 3-1-117）。

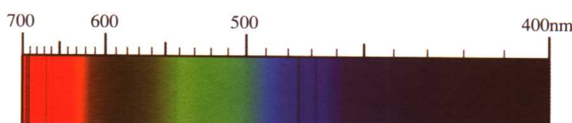


图 3-1-117 红宝石吸收光谱

蓝色刚玉宝石中的蓝色、绿色品种，可具 450nm 吸收带或 450nm、460nm、470nm 的吸收线（见图 3-1-118），不同产地或颜色深浅不同其吸收光谱稍有差异，如深蓝色者往往只见到 450nm 处一较粗的吸收带及 460nm 的一条细线，浅灰蓝色者仅可见 450nm 处的一条细线，黄色刚玉宝石的吸收线则很难见到。粉红、紫色蓝宝石兼具红宝石和蓝色蓝宝石的吸收谱线。

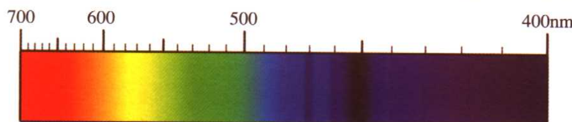


图 3-1-118 蓝宝石特征吸收光谱

变色刚玉宝石有独特的吸收光谱。变色蓝刚玉宝石的可见光吸收谱具470.5nm的吸收线，550～600nm 强吸收及 685.5nm 的吸收线（见图 3-1-119）。

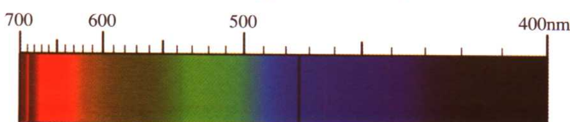
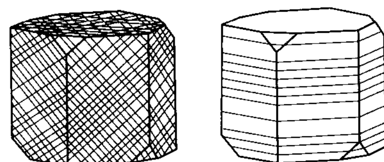


图 3-1-119 变色蓝宝石吸收光谱

（五）力学性质

1. 解理


图3-1-120 刚玉宝石的裂理方向

刚玉宝石解理不发育，但常发育菱面体{10$\bar{1}$1}、底面{0001}裂理，有时可见柱面{11$\bar{2}$0}裂理。{10$\bar{1}$1}裂理的出现是由于水铝矿（γAlO・OH）大量沿双晶方向出溶导致层间结合力变弱而产生的（J S White, 1979）（见图3-1-120）。泰国产出的黑色星光蓝宝石具有{0001}裂理，其内部大量赤铁矿和针铁矿包体沿底面平行分布（Weibel & Wessicken，1981）使层间结合力减弱产生了裂理，宝石呈现深褐色并具有星光效应。

2. 硬度

刚玉宝石的摩氏硬度为9。硬度略具方向性，平行光轴面的硬度（H_k=2140kg/mm^2）略大于垂直光轴面的硬度（H_k=1880kg/mm^2）。

3. 密度

刚玉矿物的密度为4.00(＋0.10，－0.05)g/cm^3。Cr、Fe等微量元素含量影响密度值大小，含量越高，密度越大。我国山东深蓝色宝石密度可达4.17g/cm^3。

（六）内外部显微特征

刚玉宝石可含有丰富的固态包体、气液两相包体及特征的生长结构。

二、刚玉宝石的品种

刚玉宝石品种的划分依据主要是颜色和特殊的光学效应。

（一）依据颜色的品种划分

国际珠宝界依据颜色将刚玉宝石划分为红宝石、蓝宝石两大品种，但红宝石与蓝宝石的界线却始终是个有争议的问题，到目前尚未统一。传统宝石学强调红宝石的颜色质量，将红宝石限定在一较窄的范围内。但是随着天然红宝石产量的减少、需求量的增加，以及产出国的利益等众多因素，一些国际组织建议对传统红宝石范围重新界定。下面对上述情况简略介绍。

1. 传统宝石学分类

红宝石：中到深红色刚玉宝石统称为红宝石。

蓝宝石：除去红宝石以外的其他所有颜色的刚玉宝石统称为蓝宝石。

在这种传统划分中，浅红色刚玉宝石被划归在蓝宝石品种中，因此出现了浅红色蓝宝石、粉红色蓝宝石的名称。在实际应用中粉红色蓝宝石与红宝石的界限是很难准确划分的。

1989年在曼谷召开的国际有色宝石协会（简称ICA）年会上对红、蓝宝石界限提出了一个新的原则，即把所有具红色色彩的刚玉宝石划归为红宝石，其他颜色的刚玉宝石划归为蓝宝石。

2. 本书的划分

考虑国际动向以及我国的现实情况，根据GB/T16553－2003《珠宝玉石鉴定》标准，刚玉宝石颜色品种划分如下：

红宝石　即红色的刚玉宝石，它包括了红色、橙红色、紫红色、褐红色的刚玉宝石。

蓝宝石　即除去红宝石以外的所有刚玉宝石，它包括蓝色、蓝绿色、绿色、黄色、橙色、粉色、紫色、灰色、黑色、无色等多种颜色。根据GB/T16552－2003《珠宝玉石名称》标准，上述刚玉宝石均直接定名为蓝宝石。

（二）依据特殊光学效应的品种划分

依据特殊的光学效应，刚玉宝石可以划分出星光红宝石、星光蓝宝石、变色蓝宝石等品种。

1. 星光红宝石和星光蓝宝石

红、蓝宝石可含丰富的金红石包体，在垂直于Z轴的平面内沿{10$\bar{1}$0}或{11$\bar{2}$0}出溶三组金红石针状包体，互成60°角相交，加工成弧面形宝石后显示六射星线，偶尔也有双星光现象。双星光是由两套成规律排列的包体引起，两套星光互成30°角交叉，构成十二射星线图案。据资料报道引起双星光的包体一套是金红石，另一套是赤铁矿（见图3-1-121、图3-1-122）。

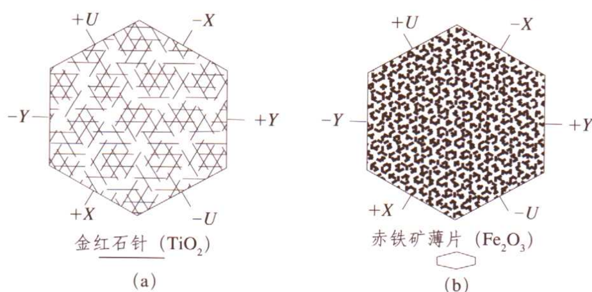


图3-1-121 刚玉宝石内引起双星光的两套包体出溶方向
（a）沿{10$\bar{1}$0}出溶的金红石；（b）沿{11$\bar{2}$0}出溶的赤铁矿

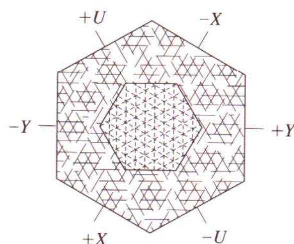


图3-1-122 我国山东蓝宝石双星光现象包体方向示意图

2. 变色蓝宝石

少数蓝宝石具变色效应，它们在日光下呈蓝色、灰蓝色，在灯光下呈暗红色、褐红色，变色效应一般不明显，颜色也不十分鲜艳。

三、世界主要产出国刚玉宝石内部鉴定特征

刚玉宝石的主要产出地有缅甸、泰国、斯里兰卡、越南、柬埔寨、中国山东等，不同产地的刚玉宝石表现出不同的鉴定特征。

（一）红宝石

1. 缅甸红宝石

缅甸红宝石在国际珠宝市场上有着重要的地位，一向以生产“鸽血红”红宝石而闻名于世（见图3-1-123）。其主要鉴定特征如下：

（1）颜色

缅甸红宝石因含有丰富的Cr_2O_3，$w(Cr_2O_3)$约2%～3%，而具有鲜艳的玫瑰红色—红色。其颜色最高品质者被誉为“鸽血红”色。所谓“鸽血红”是一种颜色饱和度较高的纯正的红色。缅甸红宝石颜色往往分布不均匀，常呈浓淡不一的絮状、团块状，在整体范围内表现出一种具流动特点的漩涡状，也称“糖蜜状”构造。“糖蜜状”构造曾作为缅甸红宝石的产地鉴别依据（见图3-1-124）。高档缅甸红宝石的颜色主要取决于两方面的共同作用：一是颜色的明度高并具有纯正的红色荧光；二是内部因含有大量丝状金红石包体，使入射光线可以散射到宝石表面，赋予宝石更加柔和的颜色，这是其他产地红宝石所罕见的。



图3-1-123 缅甸红宝石

（2）固态包体

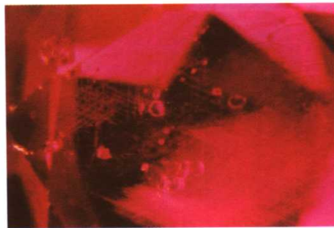
缅甸红宝石中很少见流体包体，但固态包体却非常丰富，其中金红石的分布特征构成了

缅甸红宝石的产地鉴别依据。

金红石　缅甸红宝石中金红石含量丰富，针体细小，互为60°夹角定向排列。由于金红石对光的干涉作用，在成品宝石表面常呈现一种五颜六色的光彩，即“绢丝光泽”（见图3-1-125）。放大检查中可发现金红石分布不均匀，多呈团块状聚集，恰似一块块“补丁”，在“补丁”周围方解石等粒状微晶呈回旋状环绕分布（见图3-1-126）。


图3-1-124 缅甸红宝石中的“涡纹”


图3-1-125 缅甸红宝石中三向排列的金红石针状包体


图3-1-126 缅甸红宝石中“补丁”状的金红石针状物，周围散布着方解石和白云石微晶

除金红石外，缅甸红宝石中还常见方解石、尖晶石、榍石、磁铁矿、橄榄石、锆石等包体。其中方解石、白云石多呈无色透明的菱面体状或不透明的乳白色的团块状（见图3-1-127）；尖晶石呈低突起浑圆状或八面体形；榍石多为黄色板状、柱状（见图3-1-128）；磁铁矿多呈褐至黑色的圆粒状；橄榄石则呈黄绿色柱状；磷灰石多呈无色至浅黄色，边缘呈明显被熔蚀的浑圆状（见图3-1-129）；金云母则呈不透明的深棕红色片状。


图3-1-127 缅甸红宝石中略带黄色的白云石包体


图3-1-128 缅甸红宝石中榍石包体


图3-1-129 缅甸红宝石中的磷灰石晶体

（3）双晶

缅甸红宝石中一般仅能见到一组双晶，在成品宝石中表现出一组“百叶窗”式图案。

（4）负晶

缅甸红宝石的另一个特点是负晶比较发育，个体粗大的负晶分散或成串出现，其内常被液体或气液二相流体充填，部分为空晶（见图3-1-130）。


图3-1-130 缅甸红宝石中的空晶

（5）次生裂隙

在一些中低档的缅甸红宝石中常见次生开放裂隙，裂隙内被黄色、棕色的铁质充填和浸染。初学者常会误认为是人工染色。

2. 孟速（Mong Hsu）

孟速（Mong Hsu）是在缅甸发现的一个较新的矿区，其矿区红宝石（见图3-1-131）特点与上述介绍的缅甸红宝石略有差异，主要表现为：

（1）颜色

Mong Hsu 红宝石的桶状原石多呈褐红色、深紫红色，其中心具蓝色或黑色核。热处理后样品整体呈红至暗红色，核心的蓝色、黑色色调相应减弱，但仍保留核心的痕迹。部分样品热处理后其中心呈不透明的乳白色斑点状（见图 3-1-132）。

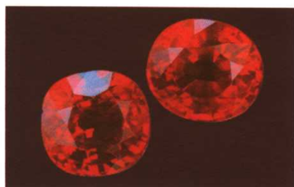


图 3-1-131 孟速矿区产出的红宝石

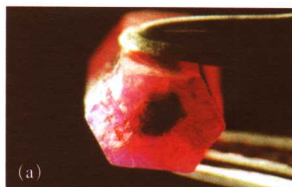




图 3-1-132 处理前孟速红宝石中有明显的蓝色核心（a），处理后蓝色的核心被去除（b）

Mong Hsu 红宝石颜色分布不均匀，表现为垂直 Z 轴方向的颜色分带，色带颜色由中心向外逐渐变浅。

（2）固态包体

Mong Hsu 红宝石内缺少丰富的金红石包体，仅能见到少量呈浑圆粒状的白云石、尖晶石、金红石、萤石等包体。在部分 Mong Hsu 红宝石中可见到一种白色微粒状固态包体，它们聚集成丝状、云雾状分布。

（3）双晶

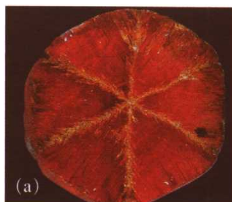
Mong Hsu 红宝石双晶发育，在同一宝石内常可见两到三组聚片双晶，双晶边缘常伴有水铝矿的细针。

（4）特殊现象

孟速矿区还产出“达碧兹”红宝石，其有 6 条不会移动的星线，和哥伦比亚的“达碧兹”祖母绿很相似（见图 3-1-133）。透明—半透明的红宝石被不透明的黄色、白色臂分割成六瓣。六条臂由形成红宝石的母岩以及大量包体聚集而成，有时汇聚于一点（见图 3-1-134a），有时在晶体中心形成六边形的核，核的颜色可能为黄色、黑色或红色（见图 3-1-134b）。在垂直六方双锥面的方向上，有一种特征的管状结构，在管中分布大量液态、气液两相包体，以及固态的方解石和白云石包体。



图 3-1-133 孟速产出的“达碧兹”红宝石



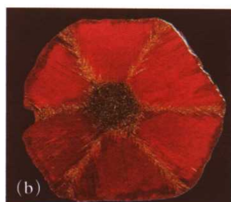


图 3-1-134 “达碧兹”红宝石原石
（a）无核；（b）有核

3. 泰国红宝石

泰国也是世界上重要的红宝石产出国（见图 3-1-135），其颜色、包体等特征都与缅甸红宝石有着较明显的差异，主要表现为：



图 3-1-135 泰国红宝石

（1）颜色

由于杂质元素 Fe 含量较高，泰国红宝石的颜色较深，透明度较低，多呈浅棕红色至暗红色。颜色较均匀、色带不发育。

（2）固态包体

泰国红宝石几乎缺失金红石包体，因此没有星光红宝石品种，然而其丰富的水铝矿包体提供了产地依据。

泰国红宝石中的水铝矿多呈灰白色、细长的针状、管状沿聚片双晶出溶，有时可见不同方向的三组水铝矿近直角相交形成建筑鹰架状图案（见图3-1-136）。部分管状水铝矿边缘具典型的“须”边状结构，“须”边由细小的张裂隙组成。除水铝矿外，泰国红宝石中还常见他形粒状至半自形的无色透明的斜长石包体，微黄色、具六边形断面的磷灰石包体，暗红棕色浑圆状的铁铝榴石包体，黑色六边形粒状磁黄铁矿包体。

（3）流体包体

与缅甸红宝石相比，泰国红宝石含有丰富的流体包体，流体包体多聚集成指纹状、羽状、圆盘状。圆盘状流体包体中央往往分布着已被熔蚀的磷灰石、石榴石或磁黄铁矿晶体，晶体四周为呈盘状展开的流体，形成一种典型的“煎蛋”状图案（见图3-1-137）。这一图案构成了泰国红宝石的产地特征。

（4）双晶

泰国红宝石聚片双晶十分发育，常出现两组以上聚片双晶（见图3-1-138）。



图3-1-136 泰国红宝石中呈三向直角排列的水铝矿针状包体

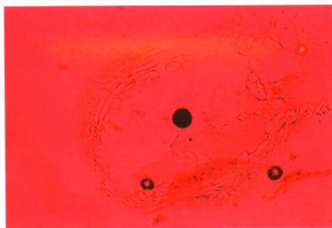


图3-1-137 泰国红宝石中的“煎蛋”状流体包体



图3-1-138 双晶薄层因脱溶的水铝矿针状物而显得更加清晰

4. 斯里兰卡红宝石

斯里兰卡红宝石以透明度高，颜色柔和而闻名于世（见图3-1-139）。

（1）颜色

斯里兰卡红宝石以颜色的多姿多彩而区别于其他产地，它几乎包括浅红—红的一系列中间过渡颜色。其低档品多为粉红色、浅棕红色，高档品为“樱桃”红色，也有人称为“水红”色，它是一种透明度较高的红宝石，呈娇艳的红色，略带一点粉、黄色色调。斯里兰卡红宝石的另一个特点是色带发育。



图3-1-139 斯里兰卡红宝石

（2）固态包体

斯里兰卡红宝石含有丰富的固态包体，但具有产地意义的是其中的金红石、锆石包体。

金红石：与缅甸红宝石内的金红石相比，斯里兰卡红宝石内的金红石显得细长，呈丝状，相对稀疏且分布均匀（见图3-1-140）。

锆石：锆石包体多呈细小的他形—自形粒状，无色或略带褐色，由于锆石内放射性元素的蜕变作用，其周围常伴生着一圈盘状裂隙（见图3-1-141）。当裂隙被气液包体充填后，灯光下可表现出五颜六色的干涉色。

除金红石、锆石外，斯里兰卡红宝石中还可含有石榴石、橄榄石、电气石、方解石、黑云母、尖晶石、磷灰石等固态包体。

（3）流体包体

斯里兰卡红宝石具有丰富的流体包体，流体包体表现出大致相同的定向性，集合体呈清晰的指纹状、梳状、网状，细长的金红石纤维常与管状流体包体相伴而生，斯里兰卡红宝石中流体包体“含量的丰富、图案的精美”构成了其产地特征（见图3-1-142）。



图3-1-140 斯里兰卡红宝石中的金红石针状包体

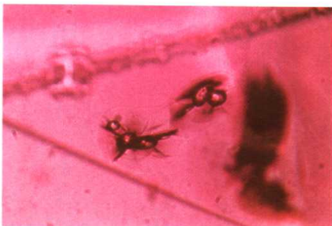


图3-1-141 斯里兰卡红宝石中蜕晶质锆石颗粒具有张力环和裂隙

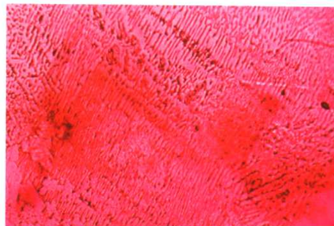


图3-1-142 斯里兰卡红宝石中的流体内含物

（4）负晶

斯里兰卡红宝石中可见完整的负晶。负晶呈六方双锥状、扁平的六方柱状，其内常被气液包体充填。

（5）双晶

可见聚片双晶。

5. 越南红宝石

越南红宝石是1983年以后发现的，不少资料报道越南红宝石与缅甸红宝石特点相近（见图3-1-143）。越南红宝石的特征如下：

（1）颜色

越南红宝石的铁含量介于缅甸红宝石与泰国红宝石之间，因此它的总体颜色比缅甸红宝石深而比泰国红宝石浅，表现为紫红色、红紫色，一种较暗的粉紫色。

色带　与缅甸红宝石相似，越南红宝石的颜色同样表现出一种流动的漩涡状构造，但与流动构造相伴的不是单一的红色，而是一些粉红色、橘红色，甚至于无色、蓝色的色带。色带可呈线状，或交叉呈不规则团块状与指纹状流体包体相伴，这些特点在缅甸红宝石中难以见到，可成为越南红宝石的产地特征。

越南红宝石颜色的另一个特点是可以出现单独的蓝色色区，这些色区沿双晶生长面成层分布，或呈边界不清的混浊片状，颇似一团蓝色的烟雾（见图3-1-144）。

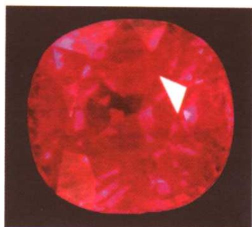


图3-1-143 越南红宝石

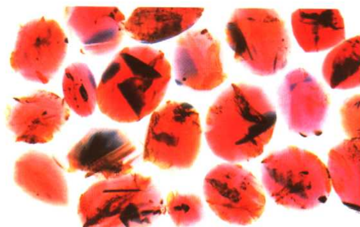


图3-1-144 在浸液观察越南红宝石可见明显色域

（2）固态包体

越南红宝石含较丰富的固态包体，有磷灰石、方解石、云母、三水铝石、磁黄铁矿、金红石等，较特征的是三水铝石。星光红宝石也有产出，但非常少见。

三水铝石呈橘黄色，据资料报道目前仅在越南红宝石中发现三水铝石，因此它可作为越

南红宝石的产地依据。除此之外，越南红宝石中还可见到透明、棕黄色、扁平的金云母晶体，透明菱面体或不规则团块状方解石，橙色的金红石晶体，黑色棒状磁黄铁矿等固态包体。

（3）双晶

聚片双晶沿{$10\bar{1}1$}发育。

（4）愈合裂隙

越南红宝中愈合裂隙发育，其内常被气、液包体充填，裂隙内有时可见褐铁矿等浸染的橘红色、橘黄色斑点。

6. 坦桑尼亚红宝石

在坦桑尼亚的很多地区都有刚玉宝石产出，其中最著名的是翁巴（Umba）、朗基多（Longido）、松加（Songea）、坦达鲁（Tunduru）矿区（见图 3-1-145）。

（1）颜色

坦桑尼亚红宝石多为红到紫红色，部分为具黄色色调的橙红色。



图 3-1-145 坦桑尼亚红宝石

（2）包体

常见规则的平行菱面体面发育的色带和生长条纹，固态包体有金红石、磷灰石、水铝矿、锆石等。

金红石　坦桑尼亚红宝石中的金红石表现为两种形态，即细长的针状及细小的点状。因缺铁，金红石常呈无色。金红石小点常聚集成云雾状（见图 3-1-146）。

水铝矿　与泰国红宝石特点相同，水铝矿多沿聚片双晶出溶，呈细管状平行排列，管边有细长的须状裂隙（见图 3-1-147）。

磷灰石　非常常见，多为微黄色，大小差异明显，有半自形柱状、浑圆状、小片状甚至破碎状（见图 3-1-148）。



图 3-1-146 坦桑尼亚红宝石中点状和针状的金红石包体



图 3-1-147 坦桑尼亚红宝石中针状水铝矿包体和张力裂纹



图 3-1-148 坦桑尼亚红宝石中半自形微黄色的磷灰石包体

（3）双晶

双晶发育，但聚片双晶晶片细窄，常三组交织分布。

（4）负晶

负晶发育，多为空晶。

（5）裂隙

裂隙发育，裂隙内常被针铁矿等物质浸染，而呈棕红色。

7. 中国红宝石

中国在发现蓝宝石的同时，陆续于安徽、青海、黑龙江、云南等地发现了红宝石。相比较而言，云南红宝石质量较好（见图 3-1-149）。



图 3-1-149 中国云南红宝石

云南的红宝石矿床是典型的大理岩型红宝石矿床，与缅甸、越南、泰国、柬埔寨等地的红宝石矿床相似，这种类型的红宝石至今仍是全球商业及宝石级红宝石的主要来源。

云南红宝石的特点为：

(1) 原矿晶形及粒度

云南红宝石一般呈他形不规则粒状，次为半自形—自形粒状，一般粒度在1～10mm，0.2～0.5cm者约占46.02%，0.5～1cm者约占28%，2cm者约占7.0%。

(2) 化学成分

云南红宝石除主要成分Al_2O_3外，含有较丰富的Cr_2O_3，而铁的含量比较低。红色的深浅与Cr_2O_3含量有着明显的关系，含量越高则颜色越深，含量越少则颜色越浅。在血红色红宝石矿物中含Cr_2O_3为1%左右，深玫瑰红色的为0.3%～0.92%，玫瑰红色的为0.17%～0.30%，浅玫瑰红色的仅为0.10%～0.17%。EDXRF分析四组云南红宝石矿物主要化学成分Al_2O_3为97%～99.6%，其他微量元素加权平均含量见表3-1-17。

表3-1-17 云南红宝石矿物微量元素含量

单位：%

CaO	V_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MgO	K_2O	Fe_2O_3	Ga_2O_3	MnO	ZnO	TiO_2
0.3	0.006	0.85	0.36	0.17	0.20	0.15	0.007	0.0003	0.0004	0.32

(3) 颜色

云南红宝石的颜色有浅红色、浅玫瑰红色、紫红色、红色，以玫瑰红色为主，约占46%。颜色较为纯正、浓艳、均匀，并具有特征的淡紫色调。

(4) 包体特征

云南红宝石的主要瑕疵是发育较多片理、裂隙、菱面体解理、矿物包体、孔洞和蚀痕等，矿物包体一般有短针状金红石、磷灰石、方解石、锆石、黄铁矿、磁黄铁矿等。锆石包体呈自形晶短柱状，可见完整四方柱及四方双锥聚形晶，也有不规则粒状单晶分布或成群分布；尖晶石呈八面体及三角形成群分布；方解石多沿裂隙分布，多呈不规则粒状，有的充填到红宝石晶洞中；磷灰石及次生赤铁矿包体也十分常见。此外，红宝石中常见气液包体，呈密集指纹状、羽状、流线状、轮廓突起较低；平行生长纹及色带均很明显，环带呈120°夹角。

(二) 蓝宝石

1. 缅甸蓝宝石

缅甸蓝宝石产出的地质条件与其红宝石不同，红宝石产自变质的大理岩中，而蓝宝石产自伟晶岩、霞石刚玉岩和正长岩中，所以其内部特征与红宝石略有差异（见图3-1-150）。缅甸蓝宝石的特征如下：

(1) 颜色

可有浅蓝—深蓝的各种颜色，浅色的蓝宝石和斯里兰卡蓝宝石很相似，区别在于缅甸蓝宝石的颜色饱和度要高，色带不发育。高质量的缅甸蓝宝石以其纯正的蓝色或具有漂亮的紫蓝色内反射色为特征。缅甸还产出金黄色、绿色、紫色、近无色的蓝宝石。


图3-1-150 缅甸蓝宝石

(2) 固态包体

除了出溶的金红石、水铝矿外，缅甸蓝宝石中固态包体相对较少。六射星光蓝宝石（各色）很常见，十二射星光少见。

与红宝石相比，缅甸蓝宝石内的“丝状物”不再完全由金红石组成，而是由水铝矿和金红石相伴而生。水铝矿可呈白色的细管，沿金红石针方向排列，也可呈白色的云雾状间杂于金红石针之间，或以细针与金红石针锐角相交排列。有时可见金红石与一系列盘状裂隙相伴而生，金红石与水铝矿的相伴特点构成了缅甸蓝宝石的内部特征。

此外，还有浑圆粒状的锆石，八面体形的磁铁矿，柱状磁黄铁矿等包体。

（3）流体包体

与红宝石相比在缅甸蓝宝石中可有较丰富的流体包体，流体包体有明显的受力的痕迹，表现为一种“褶曲”状或“撕裂”状（见图3-1-151）。这些均被认为是缅甸蓝宝石的鉴定特征。

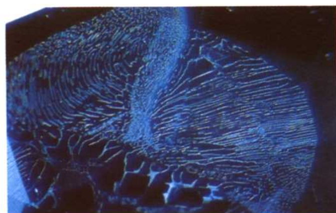


图 3-1-151 流体包体被一个褶皱横贯

（4）双晶

双晶发育，细小的水铝矿沿双晶面出溶。

2. 泰国蓝宝石

（1）颜色

一般来讲泰国蓝宝石透明度较低，颜色较深，主要有深蓝色，略带紫色色调的蓝色、灰蓝色三种颜色。成品蓝宝石可具浅蓝色—蓝色的内反射色。部分样品表面常呈现一种灰蒙蒙的雾状外观，这是由于蓝宝石色带中大量点状物质所引起。泰国蓝宝石常见发育完好的六边形色带，这一特点与澳大利亚蓝宝石十分相近。除蓝色外，泰国还产出黄色、绿色蓝宝石，以及黑色星光蓝宝石（见图3-1-152）。

（2）固态包体

泰国蓝宝石中固态包体品种繁多，较具代表性的有：

铀烧绿石　呈红色和橘红色，自形八面体状（见图3-1-153）。

斜长石　呈无色透明、他形粒状，个别呈半自形板状，多围绕于流体包体四周（见图3-1-154）。



图 3-1-152 泰国蓝宝石

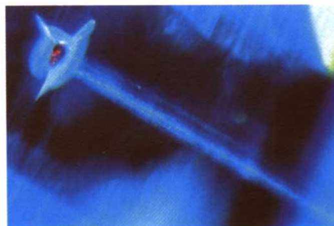


图 3-1-153 红色的烧绿石包体伴有张裂隙和尾状生长结构

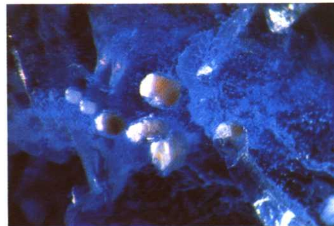


图 3-1-154 白色斜长石包体和扭结排列的次生流体内含物

赤铁矿　呈薄片状，三向排列以60°/120°角相交。

金红石　金红石针较赤铁矿细长，也呈三向排列并与赤铁矿有一定交角，因此有时会出现十二射星光。

泰国蓝宝石中，黑色星光蓝宝石比较常见，其他颜色蓝宝石星光效应少见。

（3）流体包体

泰国蓝宝石中流体包体的形态特征与其红宝石相同。

（4）裂隙

在一些蓝褐色的泰国蓝宝石中，垂直Z轴的平面内三角形生长裂隙发育，这种生长特征可形成一种假星光，在光的摆动中，这种“星光”不发生任何变化。这一特点与我国山东蓝宝石的“假星光”相似。

3. 斯里兰卡蓝宝石

斯里兰卡蓝宝石以总体颜色丰富，透明度高而区别于其他任何产地的蓝宝石。其颜色除蓝色系列外还可有黄色、绿色等多种颜色品种。

蓝色系列中可有灰蓝、浅蓝、海蓝、蓝等多种颜色。其高质量的蓝宝石成品以具有艳丽的翠蓝色内反射色区别于缅甸、泰国蓝宝石（见图 3-1-155）。



图 3-1-155 斯里兰卡蓝宝石

值得一提的是，斯里兰卡产出一种名为帕德玛（Padparadscha）的蓝宝石。帕德玛一词源自梵语 padmaraga，代表莲花的颜色。西方学者定义帕德玛蓝宝石是非常严格的，专指在斯里兰卡产出的具有柔和粉橙色的蓝宝石（Crowningshield，1983）。实际上，在越南也有这种颜色的蓝宝石产出，因此帕德玛蓝宝石已经失去了产地的意义，而范指所有具有高品质亮度和饱和度的粉橙色蓝宝石（见图 3-1-156）。

斯里兰卡蓝宝石的包体特征与其红宝石大致相同。和缅甸等地的蓝宝石相比，最大特点是含有丰富的液态包体，而且包体的组合形态相对规则、美丽（见图 3-1-157）。斯里兰卡蓝宝石另一个可信的产地特点是含一种断面破裂的长方形空晶，空晶内被单相或多相流体充填（见图 3-1-158）。



图 3-1-156 帕德玛蓝宝石

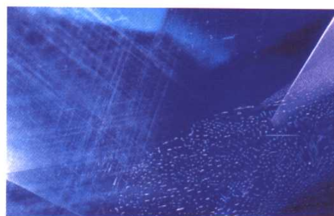


图 3-1-157 斯里兰卡蓝宝石中细长的金红石丝状物和流体包体

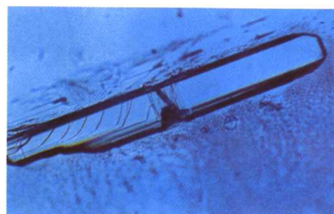


图 3-1-158 斯里兰卡蓝宝石中长方形空晶

4. 柬埔寨拜林地区的蓝宝石

（1）颜色

近几年柬埔寨拜林地区蓝宝石在国际上十分走俏，为一种明亮且纯正的蓝色，个别略带紫色，其内反射色为略浅的蓝色，样品表面具亮玻璃光泽，明显区别于其他产地的蓝宝石（见图3-1-159）。

（2）固态包体

拜林蓝宝石内部一般很干净，其特征的包体是红色、深红色、橘红色的八面体晶形的铀烧绿石（见图 3-1-160）。

其他固态包体　斜长石，自形柱状；磷灰石，自形六方柱状；刚玉，自形柱状。有时固态包体与其周围的弧形裂隙组成一种“盘状”图案（见图 3-1-161）。



图 3-1-159 柬埔寨拜林地区的蓝宝石



图 3-1-160 柬埔寨拜林地区的蓝宝石中亮红色八面体烧绿石包体

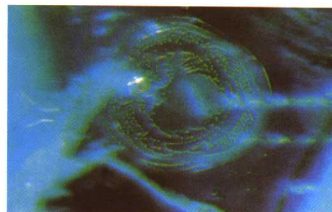


图3-1-161 柬埔寨拜林地区的蓝宝石中环礁状内含物，由客晶和其张裂隙构成

(3) 双晶

可见聚片双晶。

5. 印度喀什米尔蓝宝石

喀什米尔蓝宝石是1881年发现，但产量甚少，目前在市面上已不易看到（见图3-1-162）。

(1) 颜色

喀什米尔地区的“矢车菊”蓝宝石，一直被誉为蓝宝石中的极品。它为一种朦胧的略带紫色色调的浓重的蓝色，给人以天鹅绒般的外观。关于这种颜色感觉产生的原因一直没有定论，有可能是金红石等细小颗粒的渲染所致，也可能是一些极细小的裂隙及相伴的出溶物对光的散射引起的。颜色不均匀，常形成界线分明的蓝色及近无色的色带。

(2) 固态包体

喀什米尔蓝宝石中可含少量褐帘石、沥青铀矿、云母、锆石、斜长石等包体。较具产地定义的包体是电气石、钠角闪石和一种微粒状包体。电气石自形柱状，可有黄绿、绿、褐、红等多种颜色（见图3-1-163）。微粒包体其成分不明，可呈线状、雪花状、云雾状聚集片（见图3-1-164）。



图3-1-162 印度克什米尔蓝宝石

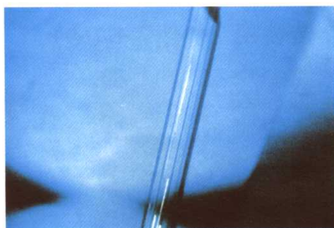


图3-1-163 克什米尔蓝宝石中晶形完好的电气石包体

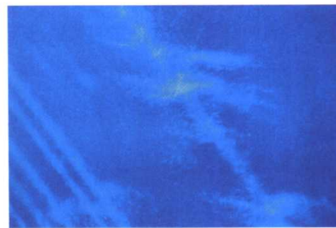


图3-1-164 克什米尔蓝宝石中似蒸气状的微粒内含物

(3) 流体包体

常可见“指纹状”流体包体。

6. 澳大利亚蓝宝石

澳大利亚是世界上非常重要的蓝宝石产地，其产出特点与中国山东、柬埔寨蓝宝石相似。

(1) 颜色

澳大利亚蓝宝石可有乳白色、灰绿色、绿色、黄色等多种颜色，而主要是透明度较低的深蓝色、黑蓝色。蓝宝石晶体上经常可见绿色或黄色的心，周围被蓝色区域包裹。表面光泽略强，颜色不均匀，六边形色带十分发育（见图3-1-165）。色带或平行晶体底面或平行于柱面发育。与泰国蓝宝石相比，澳大利亚蓝宝石颜色更深。与中国山东蓝宝石相比，澳大利亚蓝宝石透明度略高，表面光泽略强。

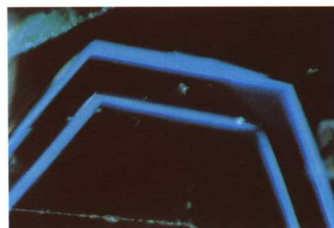


图3-1-165 澳大利亚蓝宝石中的平直色带

(2) 固态包体

澳大利亚蓝宝石内部一般较干净，可出现少量赤铁矿等包体。有黑色六射、十二射星光蓝宝石产出。

赤铁矿 呈丝状与金红石等伴生出现。赤铁矿、钛铁矿等细小针状物以三个方向呈60°夹角排列，可产生黑色星光宝石。

长石 无色，多数被熔蚀（见图3-1-166）。

铀烧绿石 红色、橘红色，自形或呈彗星状。

其他固态包体　角闪石、锆石。

(3) 流体包体

可见少量流体包体。


图 3-1-166 澳大利亚蓝宝石中的数个原生长石晶体被次生“指纹”状包体围绕

7. 美国蒙大拿州的蓝宝石

(1) 颜色

美国蒙大拿州的蓝宝石绝大部分为中等深浅的蓝色，少数为淡紫色，颜色分布均匀，很少出现色带（见图 3-1-167）。局部可见三角形生长带。

(2) 固态包体

与澳大利亚蓝宝石相似，蒙大拿州的蓝宝石内部常十分纯净，仅可见少量方沸石、刚玉等固态包体。

方沸石　方沸石呈立方体状、球状，多分布于流体包体的中心。

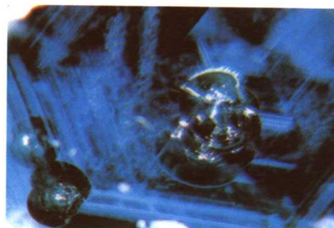
金红石　无色或暗红色柱状（见图 3-1-168）。

刚玉　无色平板状。

其他固态包体　黑云母、锆石、黄铁矿（见图 3-1-169）。


图 3-1-167 美国蒙大拿州 Yogo 矿产出的蓝宝石


图 3-1-168 蒙大拿州的蓝宝石中柱状褐橙色金红石，白色者为方沸石


图 3-1-169 蒙大拿州的蓝宝石中由黄铁矿微晶形成的黑色圆形张裂隙

(3) 双晶

可见聚片双晶。

(4) 流体包体

少量流体包体呈指纹状、网状出现。

8. 中国的蓝宝石

20 世纪 70 年代末 80 年代初在中国新生代碱性橄榄玄武岩及超基性岩体内的刚玉斜长岩中发现了蓝宝石，具体产出地有海南省蓬莱县、江苏省练山、山东省潍坊地区、黑龙江省穆林县及青海省的西部。目前成规模开采的主要是山东潍坊地区的昌乐县和五图县。

中国山东蓝宝石以粒度大、晶体完整而著称，其具体特点如下：

(1) 化学成分

山东蓝宝石中主要成分 $A1_2O_3$ 的质量分数约为 97%～99%，次要成分 FeO、TiO_2、CaO。其中 FeO 占绝大多数，大致变化于 0.64%～1.16% 之间，平均约 0.85%；TiO_2 为 0.006%～0.116%，平均值 0.14%；几乎不含 Cr_2O_3，或含量极少。在理想状态下蓝宝石中 Fe、Ti 杂质含量只占成分的万分之几，并且 $Fe^{2+}/Ti^{4+}=1$ 时，蓝宝石呈现美丽的蓝色，而山东蓝宝石杂质含量过高，Fe^{2+}/Ti^{4+} 比例过高，所以山东蓝宝石表现出过深的颜色。

(2) 颜色

仔细划分，山东蓝宝石的颜色可分为蓝色系列、黄色系列、多种颜色组合系列。蓝色系列包括：乳蓝、灰蓝、绿蓝、紫蓝、深紫蓝至蓝黑色。蓝色系列蓝宝石大多带有漂亮的紫色

色调，但由于透明度较低，仅能在较强透射光下才能观察到这种紫蓝色。黄色系列包括：浅灰黄、浅绿黄、微棕黄、褐黄、金黄等多种颜色。与蓝色蓝宝石相比，黄色蓝宝石大多透明度较高，纯净度较高。多种颜色系列，表现为同一粒蓝宝石上有两种以上不同的颜色共存。各种颜色界限分明，相互之间有规律的组合在一起，如黄色与蓝色对半相拼组合或蓝色环绕黄色的组合。山东蓝宝石通常色带较发育，呈平直或六边形色带（见图 3-1-170）。



图 3-1-170 中国山东蓝宝石

（3）固态包体

山东蓝宝石内固态包体的种类较多，但数量不很多，成品宝石内部一般较干净。

金红石包体　山东蓝宝石内金红石多呈细小的短针状、稀疏出现。在部分样品中金红石针含量丰富，两组以上的金红石针互呈 60° 夹角分布，其成品宝石可显示星光效应。

石榴石　石榴石包体多呈粒状，部分呈完好的菱形十二面体晶体，玫瑰红色至暗红色。

钛铁矿　钛铁矿多呈细小的短柱状，黑色密集排列无明显方向性。

刚玉　刚玉包体多呈柱状晶体出现，透明度一般高于主晶蓝宝石。

除以上固态包体外，山东蓝宝石内还可见硬水铝矿、磷灰石、锆石、磁铁矿、斜长石等包体。

（4）流体包体

山东蓝宝石内的流体包体主要是熔融的岩浆包体，次为其他的固－气包体、气液包体，它们呈不规则的串珠状、指纹状、羽状出现。

四、刚玉宝石与相似宝石及其仿宝石的鉴别

（一）红宝石与相似宝石及仿宝石的鉴别

与红宝石相似的宝石主要有红色石榴石、红色尖晶石、红色电气石、红柱石、仿造宝石有红玻璃（见表 3-1-18）。

表 3-1-18 红宝石与相似宝石的物理性质特点

宝石名称	颜色	多色性	n	光性特征	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	其 他
红宝石	红—紫红	明显	1.762～1.770	非均质体	3.95～4.05	金红石针呈 60° 夹角相交
铁铝榴石	褐红—暗红	无	≥ 1.76	均质体	3.93～4.30	锆石晕、针状包体
镁铝榴石	浅红—红	无	1.74	均质体	3.62～3.87	内部相对洁净
尖晶石	褐红、橙红	无	1.718	均质体	3.57～3.70	自形八面体负晶定向排列
电气石	粉红、褐红	十分明显	1.624～1.644	非均质体	3.06	特征的扁平液态包体及管状包体
红柱石	褐红—红	强多色性	1.634～1.643	非均质体	3.13～3.21	肉眼可见的强三色性
玻璃	红	无	不定	均质体	不定	气泡、收缩纹、贝壳状断口

1. 与红色石榴石的区别

除物理性质常数不同，红宝石与石榴石的区别主要在于：

石榴石为均质体无多色性，红宝石二色性明显。

紫外灯下红宝石有红色荧光，而石榴石表现为惰性。

石榴石吸收光谱明显有别于红宝石。

放大检查时，石榴石内相对较洁净，而红宝石内气液包体、各种固态包体丰富。

2. 与红色尖晶石的区别

红宝石与尖晶石的区别主要在于：

尖晶石为均质体无多色性。

尖晶石折射率为 1.718，明显低于红宝石。

放大检查中尖晶石具串珠状排列的八面体负晶。

3. 与红色电气石的区别

红宝石与红色电气石的主要区别在于：

电气石具有比红宝石更明显的二色性。

电气石双折射率较高（0.008～0.020）。刻面宝石在合适方向可见后刻面棱重影。

电气石具有特征的充满液体的扁平状包体和不规则的管穴。

4. 与红柱石的区别

红宝石与红柱石的主要区别在于：

红柱石具有肉眼可见的强多色性。多色性颜色为褐黄绿、褐橙和褐红三种颜色。

短波紫外光下红柱石具无至中等绿色、黄绿色荧光，而红宝石具无至中等红色荧光。

红宝石在红区有明显的 Cr 吸收线，而红柱石只在蓝紫区有吸收线。

5. 与红色玻璃的区别

红玻璃为均质体无多色性。

放大检查红玻璃内可见气泡、旋涡纹等现象。

红玻璃具典型的贝壳状断口，由于硬度低，棱线磨损往往比较严重。

玻璃密度小，手掂有轻感。

（二）蓝宝石与相似宝石的鉴别

与蓝宝石相似的宝石主要有蓝锥矿、堇青石、蓝色尖晶石、坦桑石（见表 3-1-19）。

表 3-1-19 蓝宝石与相似宝石的物理性质特点

宝石名称	颜色	多色性	n	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	其他
蓝宝石	蓝－蓝紫色	明显	1.762～1.770	3.95～4.10	玻璃光泽、低色散
蓝锥矿	蓝－蓝紫色	强	1.757～1.804	3.61～3.69	强玻璃光泽、强荧光、强色散、低硬度 H_M=6～7
堇青石	蓝色	极明显 蓝－紫－浅黄	1.542～1.551	2.56～2.66	低硬度 H_M=7～7.5
蓝色尖晶石	蓝色	无	1.718	3.57～3.70	自形八面体负晶定向排列
坦桑石	蓝紫色	强 紫色、蓝色、绿色	1.691～1.700	3.10～3.45	玻璃光泽、低色散、低硬度 H_M=8

1. 与蓝锥矿的区别

蓝锥矿双折射率很大，可达0.047，成品宝石具明显的后刻面重影。

在短波紫外光下蓝锥矿可具有亮蓝色荧光，而蓝宝石则表现为荧光惰性。

2. 与堇青石的区别

堇青石具有肉眼就可观察到的强多色性：蓝、紫和浅黄。

堇青石的密度明显低于蓝宝石，在2.65的重液中堇青石悬浮，而蓝宝石下沉。

3. 与蓝色尖晶石的区别

蓝色尖晶石为均质体宝石。

只能测到一个折射率值（1.718）。

4. 与坦桑石的区别

坦桑石具有明显的多色性，可看到三个方向的颜色分别为蓝色、紫红色和绿黄色。

与蓝宝石相比，具有较低的密度，密度为3.10～3.45g/cm^3。

具有相对较低的折射率值，为1.691～1.700。

五、合成刚玉宝石及其鉴别

（一）焰熔法合成刚玉宝石

1. 焰熔法合成红宝石与天然红宝石的鉴别

焰熔法红宝石是一种生产工艺较简单、成本较低的合成宝石，也是在珠宝市场流行时间较长、范围较广的一种合成宝石。焰熔法合成红宝石的密度、折射率等物性常数与天然红宝石基本相同。与天然红宝石的鉴别可以考虑以下几方面：

（1）原始晶形

焰熔法合成红宝石原始晶形为梨晶，市场上曾出现过用破碎的梨晶冒充天然红宝石毛料在产地或矿区出售的情况。其具体的办法是将梨晶破碎、滚圆，表面涂以黑色物质、局部露出鲜艳的红色，颇似高档天然红宝石毛料。如果了解天然红宝石的晶体特征，这种梨晶的碎块是不难区别的。天然红宝石具桶状、柱状、板状晶形、晶面横纹发育，垂直于Z轴的裂理发育，部分样品表面具坚硬的熔融壳，即使是破碎后的毛料仍局部保留晶体的几何形态及局部范围内的晶面花纹，另由于裂隙发育，断口处具阶梯状特点。而焰熔法合成红宝石破碎后的碎块有着过于鲜艳均匀的颜色，过于滚圆的外形，无裂理，无台阶状构造，具贝壳状断口，而其黑色的外粘物过于柔软，与坚硬闪亮的熔壳截然不同。

（2）颜色

与天然红宝石相比，焰熔法合成红宝石内微量元素种类单一，人为添加的Cr_2O_3含量充足，所以其颜色过于纯正、艳丽，给人以不真实感。我国市面上早期流通的焰熔法合成红宝石主要有鲜红色、粉红色两个品种，粉红色品种为一种带蓝色色调的浅红色。粉红色样品转动时有一种明显的蓝色闪光，而天然红宝石很少具有这种现象。然而，随着生产工艺的不断改进，焰熔法红宝石的颜色已越来越多，可有深红色、橙红色、紫红色等多种颜色，因此颜色感觉仅能提出某种“警示”，并不能做唯一的鉴别依据。

（3）多色性

天然红宝石，尤其是大颗粒的天然红宝石，其台面的取向一般是垂直Z轴的。当用二色镜从台面观察天然红宝石时，无法看到二色性或二色性不明显。而焰熔法合成红宝石的

梨晶由于应力作用，常常从中间即近平行Z轴方向裂开，为了充分利用原材料，焰熔法合成红宝石的台面是平行或近于平行Z轴取向的，因此台面的颜色往往是橙红色，不十分理想，从台面观察可看到较明显的二色性。在此二色性观察，不能作为鉴别的决定性依据，然而当二色性观察结果出现异常时，足以引起警觉（见图3-1-171）。

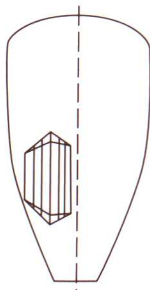


图3-1-171 梨晶切割方向示意图

(4) 发光性

天然红宝石和焰熔法合成红宝石在紫外光光源照射下均可发红色荧光，然而天然红宝石除了含Cr元素外，还可含少量Fe元素。由于Fe元素对荧光的抑制作用，天然红宝石的荧光效果弱于焰熔法合成红宝石，另外大部分天然红宝石在X射线下表现为惰性，而焰熔法合成红宝石可有红色磷光。

当用查尔斯滤色镜观察红宝石时，焰熔法红宝石可有更明显的红色。

(5) 吸收光谱

天然红宝石和焰熔法合成红宝石的吸收光谱相同，但天然红宝石受所含杂质元素的浓度影响，其吸收线的强度往往较弱，是有变化的，甚至有的吸收线缺失，而焰熔法合成红宝石在其生长过程中加入了较高含量的Cr元素，所以它可具有一个十分清晰且强度较高的Cr吸收谱。

(6) 生长线

弧形生长线是焰熔法合成红宝石区别于天然红宝石的重要依据。

天然红宝石内常发育有围绕Z轴的平直生长条带，不同方向的生长带以一定的角度有规律的相交分布。而焰熔法合成红宝石中仅能见弯曲的弧形生长线。弧形生长线往往十分细密，可均匀发育，也可有末端尖灭现象。弧线之间具有微弱的颜色色调差异，当细小的气泡或残留的添加剂质点沿生长线聚集时，生长线的弯曲特征将更清晰（见图3-1-172）。早期的合成产品生长线特点很明显，肉眼就可见到。而随着生产工艺的改进或再次加热处理，生长线的弯曲特征将变得模糊起来。

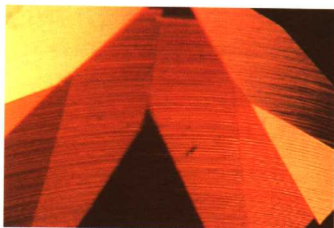


图3-1-172 焰熔法合成红宝石中的弧形生长线

生长线的观察首先应用肉眼进行，将样品置于白纸或盛水的白色容器中进行观察。如使用显微镜，则应在放大倍数较低的目镜下进行观察。初学者常会把宝石刻面上的抛光线误当成生长线，抛光线往往是短而平直的，它们仅仅局限在某一刻面中，不同刻面抛光线排列不同，而弧形生长线则是跨越刻面界限，连续地存在于整体宝石的某个方向之中的。

(7) 气泡

焰熔法合成红宝石的另一个主要鉴定依据是气泡。气泡往往很小，在低倍镜下仅可见一些小点，高倍镜下方可看到气泡。由于气泡与红宝石的折射率值相差很大，所以气泡可有较明显的轮廓。气泡一般为球状，少数情况下变形成蝌蚪状异形气泡。生产流程较稳定时，气泡个体小，数量少，仅零星可见。而当生产流程不稳定时气泡量猛增，大量的点状气泡成堆聚集，呈带状、云雾状，弥漫于整个样品中（见图3-1-173）。

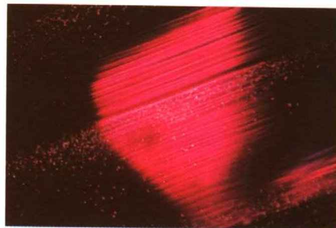


图3-1-173 焰熔法合成红宝石中的气泡

(8) 裂纹

在高速抛光作用下产生的一些典型的雁行状排列的裂纹在焰熔法合成红宝石中较易见到。

（9）再次热处理的焰熔法合成红宝石

对已加工好的焰熔法合成红宝石再次加热、冷却，产生裂隙，并投入到乙酸苯胺等树脂的溶液中，当宝石再度冷却时，可在其内部产生一种假指纹状包体，但仔细观察可以发现再次热处理的焰熔法红宝石的表面可有熔蚀现象，其假指纹状包体不是由气液两相包体组成，而是由一些树脂等有机物组成，并有可能存在气泡和弯曲的生长线。但值得注意的是，经过再次热处理的红宝石，由于扩散作用，其生长线的轮廓会变粗，变模糊，观察将更加困难。

2. 焰熔法合成蓝宝石与天然蓝宝石的鉴别

焰熔法合成蓝宝石可有多种颜色。当化学组成为纯 $A1_2O_3$ 时，合成样品为无色，当掺入少量Fe和Ti时样品呈蓝色，当掺入少量Co和Ni时样品呈绿色，单纯的Ni可使样品呈黄色；当样品掺入少量V时可产生具变色效应的蓝宝石。焰熔法合成蓝宝石与天然蓝宝石在颜色上无明显差异，二者的鉴别可从以下几方面入手。

（1）生长纹

与焰熔法合成红宝石相比，焰熔法合成蓝宝石具有较宽的生长线，尤其是一些合成变色蓝宝石的生长线的弯曲更加明显，但其黄色品种的生长线却很难发现。另外，由于合成技术的不断发展焰熔法合成蓝宝石梨晶直径变得较大，其生长线的曲率相对变小，在局部范围内生长线看上去变得相对平直，给鉴定工作者带来较大的困难。

（2）气泡

焰熔法合成蓝宝石中的气泡包体与合成红宝石中的气泡很类似，有时气泡周围会有蓝色物质聚集，在鉴定中更容易发现。

（3）发光性

天然蓝宝石在紫外光下通常表现为惰性（偶尔会有荧光反应），而焰熔法合成蓝宝石的发光性较活跃，不同颜色的样品具有不同的荧光特点，无色合成样品在短波紫外光下可有淡蓝色荧光，绿色合成样品在长波紫外灯下可具橙色荧光，蓝色合成样品在短波紫外光下可有淡蓝—白色或淡绿色荧光。

（4）吸收光谱

天然蓝宝石中的蓝色、绿色、黄色品种的可见光光谱中可全部或部分显示三条铁吸收线，其中450nm最强，而焰熔法合成蓝宝石则有可能缺失这些吸收线或吸收线很弱而且模糊。而此法合成的变色蓝宝石则具有清晰的474nm处的强而狭的V吸收线。

（5）普拉托法

焰熔法合成刚玉宝石中，特别是蓝宝石中的一些颜色品种往往缺失弧形生长线，用普通的鉴定方法无法确定其成因，普拉托测试法能够提供这方面的有力证据。具体操作方法是将宝石浸泡在二碘甲烷中，在正交偏光下，沿宝石晶体光轴方向进行观察，在20～30倍的放大倍数下，焰熔法合成蓝宝石可以显示出呈60°角相交的两个方向的直线（见图3-1-174）。上述观察结果曾被认为是焰熔法合成刚玉宝石所独有的，但在坦桑尼亚产出的某些天然红宝石也曾报道过有这种现象。

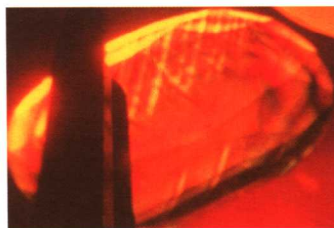


图3-1-174 普拉托法观察合成刚玉宝石的特征

3. 焰熔法合成星光红、蓝宝石与天然星光红、蓝宝石的区别

（1）颜色

焰熔法合成星光红宝石，有粉红—红色，半透明—透明；焰熔法合成星光蓝宝石，有乳

蓝—蓝色、白色—灰色、紫色、绿色、黄色、褐色、黑色、半透明。

（2）星线

合成星光刚玉宝石的星线仅存于样品的表层，星线完整，清晰，线较细（见图3-1-175），而天然刚玉宝石中星线产生于样品内部，星线可有缺失，不完整，星线较粗等特点。



图3-1-175 合成星光刚玉宝石

（3）其他特征

合成星光宝石内弧形生长纹一般平行于底面，有时和底面成90°夹角；内部可能会出现气泡，往往沿弧形生长层分布；内部还分布有十分细小的金红石针沿三向排列，呈密集的云雾状，但由于针体远远小于天然星光宝石中的针状金红石包体，因此只能用高倍显微镜（> 100 ×）才能观察到。

（二）助熔剂法合成刚玉宝石的鉴别

助熔剂法合成刚玉宝石生产工艺较复杂，成本较高。由于生长过程与天然宝石生长较为相似，其性质与天然刚玉宝石更加接近，给鉴定工作带来一定的困难。

1. 助熔剂法合成红宝石的鉴定特征

（1）晶体特征

助熔剂法合成的红宝石，其晶形已不再是梨晶，它可以生长出具完好几何形态的单晶体。但晶体形态及晶面发育情况与天然红宝石有所不同。助熔剂合成红宝石晶形主要呈板状、粒状，单晶中底面及菱面体面十分发育，而缺失天然红宝石的六方柱面、六方双锥面。六方双锥面即使出现也发育得很小。板状晶体内可发育天然红宝石缺失的穿插双晶（见图3-1-176）。

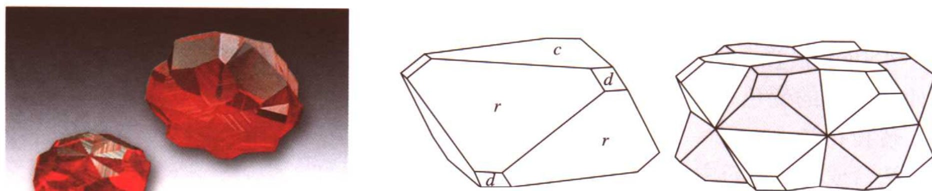


图3-1-176 拉姆拉助熔剂法合成红宝石晶体（穿插双晶）

c——平行双面；*d*、*r*——菱面体

（2）颜色

助熔剂合成红宝石颜色较丰富，包括各种深浅不一的红色。缺乏经验的人肉眼很难以颜色将其与天然红宝石区分开来。

（3）发光性

紫外荧光检查可能对助熔剂合成红宝石的鉴定有某种指示意义，但不能作为决定性的依据。一般来讲，助熔剂合成红宝石可有较强的荧光，有些品种因有稀土元素的加入可有特殊的荧光。

（4）查尔斯滤色镜观察

查尔斯滤色镜下，助熔剂合成红宝石有可能显示较明显的红色。

（5）吸收光谱

助熔剂法合成红宝石的吸收光谱与天然红宝石吸收光谱大致相同，个别品种在紫外—可见光范围内有特征吸收谱。

（6）微量元素

在X荧光光谱分析中，助熔剂法合成红宝石可显示微量Pb等元素的存在。

（7）内部特征

在常规的宝石鉴定中，内部特征检查将是区别天然红宝石与助熔剂法合成红宝石的重要手段，观察和识别可从以下几方面入手：

1）助熔剂包体　天然红宝石中固态包体品种繁多，如磷灰石、金红石、金云母、锆石等，这些细小的晶体包体、形态各异、组合形式各异构成了不同的产地特征。而助熔剂合成红宝石中最主要的固态包体则是其“助熔剂残余”，这些“助熔剂残余”往往有特定的颜色和形态。

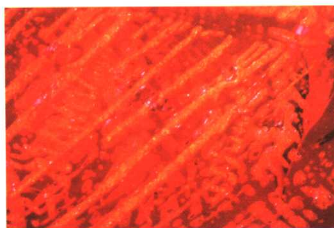
A. 颜色　在透射光下，助熔剂残余绝大部分是不透明的，显示灰黑色、棕褐色，以致黑色，而在反射光下，助熔剂（残余）可呈现浅黄色、橙红色，并且具有金属光泽（见图3-1-177）。

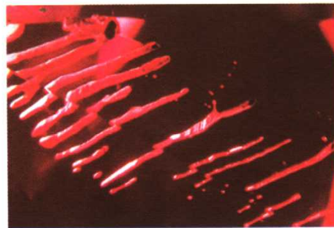
B. 形态　助熔剂残余所形成的包体可有丰富的外表形态，其中有些形态可作为鉴定特征，而有些与天然红宝石的包体极易混淆。归纳起来，红宝石中的残余助熔剂主要形态有：树枝状、栅栏状、网状、扭曲的云状、管状、熔滴状、彗星状。

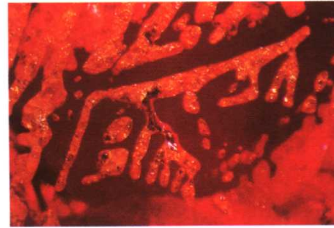
a. 树枝状　早期生长的助熔剂合成红宝石，助熔剂残余常拉伸成粗大的树枝状，树干为空管并大致定向排列，树枝的结节部分可有些深色的团块状物质，是玻璃态的助熔剂，正常情况下它们呈橙黄色、黄色，当PbO、PbF等物质析出后则变成黑色，在反射光下可见金属光泽。

b. 栅栏状　当助熔剂含量较丰富时，这些细长的助熔剂可整齐地排列成栅栏状、梳状，栅栏的一头大致平直，而另一头长短不一（见图3-1-178）。

c. 网状　当以上两种形态的助熔剂包体进一步发育时，可呈网状，这些助熔剂可沿合成晶体的一定结构方向发育（见图3-1-179）。


图3-1-177　采用斜向照明时，助熔剂残余显示出黄橙色体色


图3-1-178　助熔剂法合成红宝石中的栅栏状助熔剂包体


图3-1-179　助熔剂法合成红宝石中的网状助熔剂包体

d. 扭曲的云翳状　当生长环境不十分稳定时，助熔剂包体的数量会增多，集合体形态可呈面纱状、云翳状，而这一形态的包体最容易与天然红宝石中的指纹状包体相混（见图3-1-180）。

e. 管状　个别样品中助熔剂呈长管状，定向排列，但仔细观察可以发现，这些长管状包体与天然红宝石中的细密管状包体还是有区别的。天然的管状包体，管壁平直，管的两端粗

细一致，而助熔剂形成的长管，管壁不直，管的两端粗细不一，一端往往变细，成封闭的锥状，管壁内可见玻璃状的助熔剂（见图 3-1-181）。

f. 熔滴状　熔滴常呈球形、椭球形、哑铃形、蝌蚪形、小棒形或各种不规则形，熔滴聚集体形态与天然红宝石中的指纹状包体十分相似，在这种情况下要特别注意观察单个熔滴的结构特征（见图 3-1-182）。

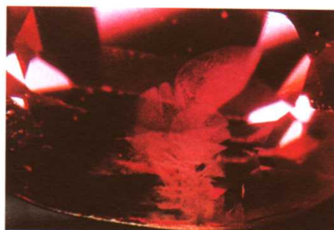


图 3-1-180　助熔剂法合成红宝石中的云翳状助熔剂包体



图 3-1-181　助熔剂法合成红宝石中的管状助熔剂包体



图 3-1-182　助熔剂法合成红宝石中的熔滴状助熔剂包体

g. 彗星状　还可以存在一种极细小的助熔剂包体，它由一个个小熔滴组成，并且有两条或多条细白线从小熔滴上延伸出去，有时这些极细小的熔滴可使合成红宝石产生一种云雾状的外观，宝石透明度降低（见图 3-1-183）。

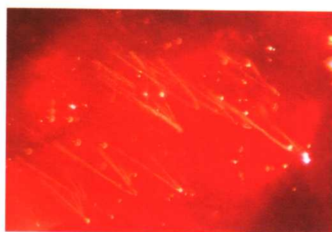
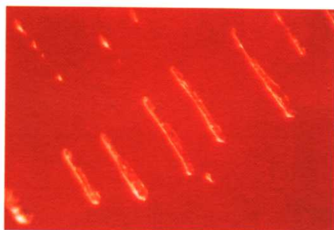


图 3-1-183　助熔剂法合成红宝石中的彗星状助熔剂包体

助熔剂法合成红宝石中的熔滴未脱玻化前呈均一的玻璃态，但在急速冷却的条件下，由于热胀冷缩作用，熔滴的中心形成一个空洞，空洞边缘是收缩后的固态，并具马赛克状结构（见图 3-1-184）。在个别情况下，助熔剂在空洞边缘结晶出一些晶芽，空洞壁将失去其圆滑的外表，成为一条不规则的折线。在极个别的情况下，由于固溶体分离作用，可产生一种类似天然的三相包体的形态，这时最外围为玻璃态，中心为收缩空洞，在玻璃态中，还可能存在某种助熔剂的结晶态。



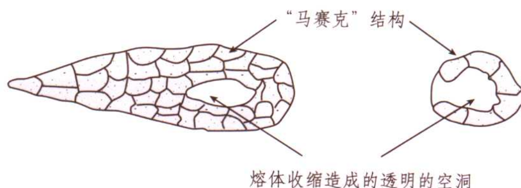


图 3-1-184　助熔剂法合成红宝石中的特殊结构

2）色带与色块　在助熔剂合成红宝石中，可以出现笔直的生长环带及不均匀色块（见图 3-1-185）。这些现象在以往均被认为是天然红宝石的证据，随着合成技术的不断发现，这些仅在天然红宝石中见到的现象，已开始在合成红宝石中出现。但有些颜色特点，可作为合成红宝石所特有，比如在拉姆拉（Ramaura）合成红宝石中出现的一种搅动状的颜色不均匀现象和多罗斯（Douros）合成红宝石中出现的蓝色三角状生长带，可作为助熔剂法合成红宝石的鉴定特征。

3）金属片　在部分助熔剂合成红宝石中可见到从铂坩埚中游离出的铂形成的铂金片（见图 3-1-186）。它们可具有三角形、六边形或不规则多边形状，在透射光下，它们是不透明的，

在反射光下可以有银白色的金属光泽。铂片出现的几率是较低的，但一经发现，可作为合成红宝石的依据。



图 3-1-185 助熔剂合成红宝石中平直和角状的色带

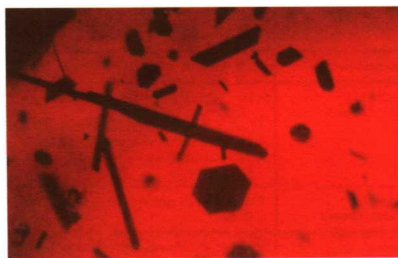


图 3-1-186 助熔剂合成红宝石中的铂金属片

2. 助熔剂法合成蓝宝石的鉴定特征

助熔剂法合成蓝宝石内的助熔剂残余、颜色色带、铂金属片等特点与其相应的助熔剂法合成红宝石相同，不同点在于：

1）荧光　在紫外灯下助熔剂残余可有粉红色、黄绿色、棕绿色等多种荧光，而且荧光较强，而天然蓝宝石多表现为荧光惰性。

2）吸收光谱　与天然蓝宝石相比，助熔剂合成蓝宝石有可能缺失460nm、470nm的吸收线。

（三）水热法合成刚玉宝石

早在 1943 年水热法红宝石的合成已由 Laubengayer 和 Weitz 完成，但是由于水热法合成红宝石的制造成本太高，因此一直未作为商品宝石流通。1992年原苏联的Tairus公司的Alexan将水热法合成红宝石达到商业化生产。

1. 水热法合成红宝石的鉴定特征

水热法合成技术是一种更接近天然宝石在热液环境中生长的技术，因此合成红宝石与天然红宝石极为相近，以下几方面有可为鉴定提供某些依据。

（1）颜色

目前面市的水热法合成红宝石可有浅红到深红的各种颜色，往往透明度很高，内部很纯净。

（2）发光特点

在紫外荧光灯下水热法合成红宝石可以没有荧光，或具弱—强的荧光。荧光的强弱与体色有密切的关系，体色浓者荧光强，而一些浅粉红色品种几乎没有荧光，所以鉴定时需要有相同颜色的天然样品对照才可下结论。

（3）晶体特征

水热法合成红宝石多为板状晶体（见图 3-1-187）。

（4）内部特点

水热法合成红宝石典型的内部特征是含有种晶片，当种晶片没有在磨制过程中切除时，是很易观察的。种晶片与其两侧的红宝石有着明显的界线，种晶片的两侧可有一些发育不规则的晶芽或雾状气泡，种晶可以是合成红宝石的片晶，也可以是天然红宝石的片晶，因此种晶有可能含有与两侧红宝石不同的包体或者包体在种晶部位截断的现象。



图 3-1-187 水热法合成红宝石晶体（白色区域为种晶板）

生长纹　水热法红宝石普遍具有明显的生长纹，生长纹

往往颜色深浅不一，生长纹的形态可呈锯齿状、波纹状，沿光轴方向观察可以发现两个方向的生长纹，交织成网状（见图3-1-188）。

金属包体　水热法合成红宝石中有可能发现金属包体，它们呈分散状或局部聚集分布。据资料表明，这些金属片为一些合金，可具三角形、四边形等多边形的形状，在透射光下不透明，反射光下可具金属光泽（见图3-1-189）。



图3-1-188 水热法合成红宝石中的波状生长纹

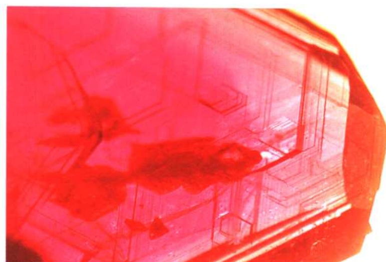


图3-1-189 水热法合成红宝石中的金属包体

钉状包体　由于生长过程中有水的参与，水热法合成红宝石内常有一种特征的“钉状”流体包体。较大的钉状包体中心存在着深色的液态充填物。有时钉状包体变十分细小，表现为一根根细针密集而定向排列。

2. 桂林水热法合成刚玉宝石的鉴定特征

我国桂林水热法合成红宝石于1998年上半年开始生产，目前已生产出多种颜色的刚玉宝石。由于我国生产的宝石与Tairus合成红宝石有很大差别，因此需对其鉴定特征加以介绍。

（1）颜色

主要为红色、橙红色、暗橙红色、桃红色、浅黄色，透明度较高，肉眼难见内含物。

（2）荧光

合成红宝石LW：中，鲜红色；SW：中—弱，暗红色。桃红色的合成刚玉宝石LW：强，鲜红色；SW：中，暗红色或粉红色。浅黄色合成蓝宝石LW：中—弱，杏红色；SW：弱，杏红色或中等的白垩色。

（3）吸收光谱

合成红宝石只见红区的吸收线，蓝绿区被吸收；浅黄色合成蓝宝石缺失450nm吸收线。

（4）内含物特征

种晶片残余是桂林水热法合成红、蓝宝石中最常见的一种内含物，主要是由于合成出的晶体比较薄造成的。在一些较大的成品中，种晶残余常常在亭部或在冠部、有时也会夹在中间出现。短波下出现的蓝白色荧光就是由这些无色种晶片引起的。在种晶片中，还时常见到大量的、密集且分布均匀的小气泡。种晶片残余需用油浸的方法进行观察。

细小面包渣状包体是在合成刚玉生长初期形成的，分布在种晶面上或其附近，总体上呈面状分布。小包体大多以独立的形式存在，但也有更小的呈断续线状分布的尘埃状包体，与独立的小包体连成网状，小包体的直径约为10μm。

生长纹理在桂林水热法合成红、蓝宝石中很不明显，用常规的宝石显微镜很难观察到。Tairus合成红宝石用{$1\bar{2}11$}为生长面，合成出的宝石具有明显的生长纹和大量内含物，而桂林水热法合成刚玉则采用另一种结晶学方向，使生长出的晶体更为纯净。

（5）红外光谱特征

红外光谱检测桂林水热法合成红、蓝宝石无水的吸收特征，这种现象与大多数水热法合

成宝石都不同。究其原因是合成宝石的内含物很少，尤其是含水的两相或多相包体极少；其次是这种包体的充填度低，即主要是气相组分，液相占的比例低；此外，由于生产条件不适合含水铝化物如一水铝石（AlOOH）的形成，很少有 H^+ 或 OH^- 进入刚玉的晶格。

（四）莱切雷特纳（Lechleitner）合成红宝石

奥地利人 Johann Lechleitner 以其水热法合成祖母绿而著名，在20世纪80年代他开始转向合成刚玉宝石的研究并获得成功。Lechleitner 合成刚玉宝石是一种在种晶表面利用助熔剂法合成出外部生长层的新产品，其种晶通常是焰熔法合成红宝石，极少数为天然刚玉。

种晶先经淬火产生大量裂隙使熔体可以渗入种晶内部，并在合成过程中愈合这些裂隙。种晶和助熔剂法生成的外部生长层之间没有明显的分界线，所以很难判定种晶的大小和合成刚玉层的厚度。通常情况下生长层的厚度为1～2mm（见图3-1-190）。Lechleitner 合成刚玉切割后重量通常为0.5～1.5ct，但种晶的重量占90%以上。

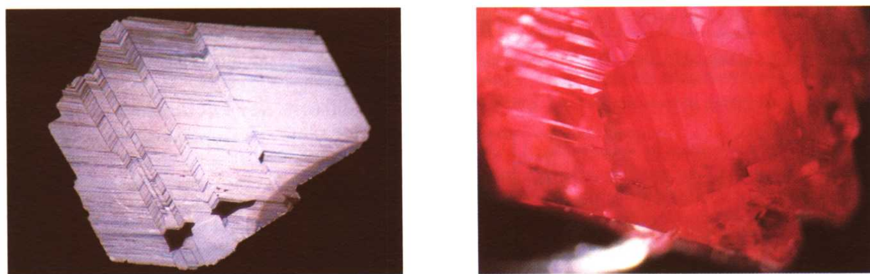


图3-1-190 莱切雷特纳合成红宝石

表面反射光观察可见生长纹和双晶面（左），在天然种晶表面生长出的薄层（右）

Lechleitner 合成刚玉的颜色依赖于种晶的颜色，常见红色和蓝色，也有橙、绿、黄、紫、无色和变色。肉眼观察内部相对洁净，可见轻微的云状物；放大观察发现，Lechleitner 合成刚玉宝石因其种晶不同，可以同时具有焰熔法合成刚玉（或天然刚玉）的内部特征，以及助熔剂包体。如果种晶是天然刚玉，Lechleitner 合成红宝石在长波紫外光下其合成生长层会显示亮红色荧光，与种晶较弱的红色荧光形成鲜明对比。

六、刚玉宝石的优化处理及其鉴别

刚玉宝石的人工优化处理，优化方法主要是热处理；处理方法包括染色、浸有色油、充填和扩散处理等。

（一）热处理

1. 刚玉宝石热处理简介

刚玉宝石的热处理历史悠久，其结果稳定、持久而被人们接受。目前市场上出售的绝大多数刚玉宝石都是经过热处理的。刚玉宝石的热处理主要应用于以下几方面：

1）消减红宝石中多余的蓝色和削弱深色蓝宝石的蓝色　红宝石和蓝宝石中的蓝色色调大多由 $Fe^{2+}\rightarrow Ti^{4+}$ 电荷转移引起。在高温氧化中加热红宝石或深色蓝宝石将发生 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 的转变即 $4Fe^{2+} + O_2 \rightarrow 4Fe^{3+} + 2O^{2-}$，样品中 Fe^{2+}、Ti^{4+} 离子对数量减少从而去除多余的蓝色。

2）诱发或加深蓝宝石的蓝色　在高温还原中加热蓝宝石，使宝石中原有的 Fe^{3+} 转换为 Fe^{2+}，增加样品中 $Fe^{2+}\rightarrow Ti^{4+}$ 的电荷转移，使样品颜色由浅变深。

3）去除红宝石、蓝宝石中的丝状包体或发育不完美的星光　在空气中将样品加热到1600～1800℃，迅速冷却，使原以包体形式存在的金红石（TiO_2）在高温下熔融，进入晶格与 Al_2O_3 形成固溶体，从而达到消除星光和丝状包体的目的。

4）产生星光。在空气中加热样品，然后缓慢冷却，使样品内以固溶体形式存在的钛分离形成金红石包体，从而产生星光。

5）将浅黄色、黄绿色的刚玉在氧化条件下进行高温处理变成橘黄色以至金黄色蓝宝石。这是因为在高温氧化条件下，刚玉晶格内原由 Fe^{2+} 造成的氧空位全部填满，Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 使刚玉宝石形成黄至金黄色。

2. 热处理刚玉宝石的鉴别

经热处理后的红宝石、蓝宝石所表现的鉴定特征大致相同。

（1）颜色

热处理后的红、蓝宝石可有颜色不均匀现象，如出现特征的格子状色块、不均匀的扩散晕。另外处理前后原色带的颜色、清晰度也会发生不同程度变化。斯里兰卡乳白色的Geudas刚玉经热处理后呈现美丽的蓝色，其蓝色常集中在一些不规则的色带和色斑里，放大检查可看到这些色带或色斑的颜色是由一些边缘模糊的蓝色质点聚集而成的雾状包体。而我国山东蓝宝石在热处理后原本蓝色的色带可转变成无色透明的色带。棕褐色色带可转变成蓝色色带，原本不显示色带的样品热处理后可显示出黄色色带。

（2）固态包体

经热处理的红、蓝宝石其固态包体将发生不同程度的变化。

红、蓝宝石内的低熔点包体，如长石、方解石、磷灰石等，在长时间的高温作用下发生部分熔解，原柱状晶体边缘将变得圆滑。一些针状、丝状固态包体如金红石则随着溶解程度的不断加强转变成断续的丝状、微小的点状等形态，有时高温处理的红、蓝宝石表面可见到一种白色丝斑，是金红石高温破坏后的产物。

（3）流体包体

红、蓝宝石内的原生流体包体在高温作用下会发生胀裂，流体浸入新胀裂的裂隙中。

（4）表面特征

由于高温溶解作用，成品红、蓝宝石的表面全发生局部熔融，因而产生一些凹凸不平的麻坑。为了消除这些麻坑样品需二次抛光，二次抛光作用不能保证第一次抛光中刻面棱角的完整性，常使原本平直的刻面棱角出现双腰棱、多面腰棱现象。

（5）吸收光谱及荧光特征

据报道经热处理的黄色和蓝色蓝宝石在台式分光镜下观察，缺失450nm吸收带，某些热处理的蓝色蓝宝石在短波紫外光下显示弱的淡绿色或淡蓝色荧光。

（二）染色处理

1. 方法

将劣质刚玉宝石，即颜色浅淡、裂隙发育的刚玉宝石放进有机染料溶液中浸泡、加温，使之染上颜色。

2. 检测

（1）早期染色刚玉宝石，颜色过于浓艳，给人以不真实感，包装纸上往往还留有颜色痕迹，用蘸有酒精或丙酮的棉球擦拭样品时，棉球全被染色。

（2）近期染色的刚玉宝石的颜色趋于自然，外面涂过蜡等物质，使颜色封存在裂隙中。

但在放大检查时可以发现染料在裂隙中集中的现象。

(3) 由于染色刚玉染料仅分布于裂隙中而未进入宝石的晶格，所以出现多色性异常，表面浓艳的宝石却没有明显的多色性。

(4) 染色刚玉宝石可有由染料引起的特殊荧光，如染色红宝石可有橙黄—橙红色荧光。

(5) 在红外光谱中出现染料的吸收峰。

(三) 浸有色油

红宝石有时使用浸有色油的方法来改善其透明度和颜色。

注油处理的刚玉放大检查可以发现油充填后的裂隙有五颜六色的干涉色，当部分油挥发后可留下斑痕及渣状沉淀物，包装纸上也可留下油的痕迹。在热针试验中可有油珠被析出。

(四) 充填处理

红宝石是一种裂隙非常发育的宝石品种，充填技术的应用将很大程度上改变红宝石的外观和价值。红宝石的充填是将充填材料注入或填充到红宝石的裂隙、孔洞和空隙中，以掩盖其裂隙缺陷，减少内反射，进而达到提高宝石的亮度、透明度和改善红宝石颜色的效果。

1. 充填材料与工艺

20世纪80年代初，泰国市场上就出现了充填处理的抹谷红宝石。红宝石的充填处理并不是最近才出现的新技术，但在充填材料方面却进行了很多年的尝试，试图找到合适的充填物质。用于红宝石充填的材料主要有硼盐、水玻璃、石蜡、塑料、硅土、高铅玻璃及其他相关的溶剂等。

红宝石的充填一般是在真空条件下通过加热来完成，一般分为以下几个步骤：

处理前　挑选待处理的样品，用酸清洗，去除红宝石裂隙中的各种金属离子和其他杂质并烘干。

加热充填处理　将充填物质与待充填的红宝石置于充填装置中，加热使充填物质熔化成玻璃态或液态在真空环境下渗入红宝石裂隙中，充填物质既作为填充剂，也起助熔剂作用。

冷却和再充填　充填结束后，慢慢降至室温。在冷却过程中充填物质变为固态物质并可能出现部分结晶和流动特征。由于充填物质冷却收缩，可能需要再次充填。

表面处理　充填过程完成后，往往要对红宝石进行表面处理，包括酸洗和重新打磨和抛光。

红宝石的充填过程中，可以加入一些着色剂（一般为Cr_2O_3），以改善无色或浅色刚玉宝石的颜色，使之更鲜艳。

除了真空充填工艺外，溶胶—凝胶工艺也被应用到红宝石充填中来，采用二元或三元组分配制溶胶，并充填到红宝石裂隙或孔洞中，冷却后溶胶变为凝胶，从而填补了红宝石的裂隙和空洞，掩盖了红宝石的瑕疵。

2. 传统充填处理红宝石的鉴别

(1) 注胶处理的刚玉宝石其裂隙处的光泽不同，胶的光泽低于刚玉主体的光泽，裂隙较大时，针尖触之，胶可被划动。红外光谱中可出现胶的吸收峰。

(2)玻璃充填的刚玉宝石往往裂隙十分发育，用表面反射光观察裂隙内玻璃的光泽明显低

于刚玉主体光泽，大的裂隙处充填玻璃平面往往凹陷，红外光谱检验也可发现玻璃的存在。充填过程往往会在裂隙或空洞中留有气泡（见图3-1-191）。

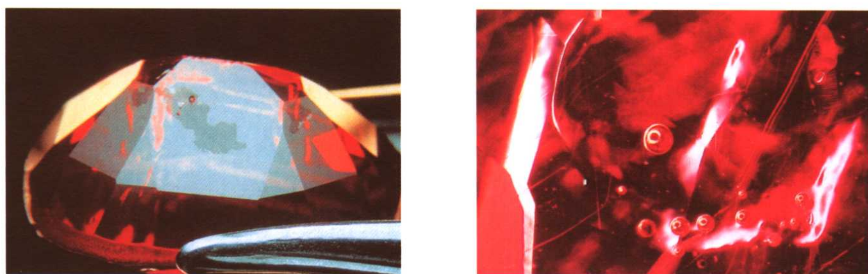


图3-1-191 充填红宝石表面特征（左）和内部残留的气泡（右）

3. 新型铅玻璃充填处理红宝石

从2004年3月日本宝石协会（GAAJ）首次检测到铅玻璃充填红宝石以来，世界上一些著名的宝石实验室（AGTA、GIA）也陆续遇到了同样方法处理的红宝石。

经EDXRF分析这种充填处理的红宝石含有过高的铅（Pb），此外还有Si、P、Ca和Ti等元素，而有些轻元素如硼，使用EDXRF是检测不到的。拉曼光谱分析也证实了宝石的充填物与一种含铅硼酸盐玻璃很相似。

放大检查发现充填物为黄色透明物质，光泽明显高于红宝石主体的光泽，并存在大量扁平气泡（见图3-1-192）和小空隙（见图3-1-193）。在所有的观察方向上，充填裂隙的可见度非常低，但在充填的裂隙上会呈现弱到中等程度的蓝—紫—橙红色闪光，在某些方向上观察，裂隙会变得很模糊（见图3-1-194）。所有充填空洞表面抛光都较差，因为充填物的硬度明显低于刚玉本身的硬度（见图3-1-195）。

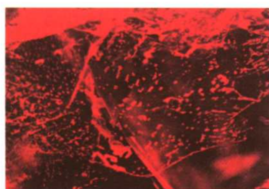


图3-1-192 玻璃充填红宝石中都可以见到很多扁平的气泡

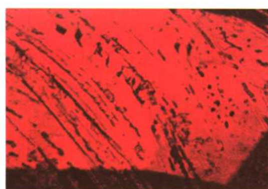
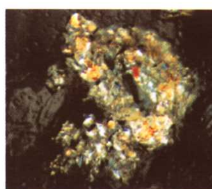


图3-1-193 拉长的不规则小空隙



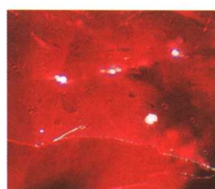


图3-1-194 从某个方向上观察，充填的裂隙变得比较模糊

在高能短波紫外光辐射下，充填物具有强蓝色荧光，与红宝石的红色荧光对比明显；而红宝石中传统充填的玻璃一般呈惰性或具弱的灰色荧光（见图3-1-196）。

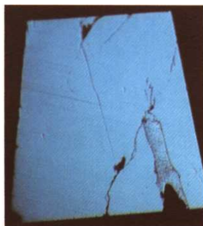


图3-1-195 充填物光泽强与红宝石，表面的空洞被充填后抛光很差

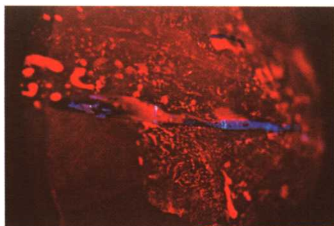




图3-1-196 使用DiamondView成像技术，新型的铅玻璃充填物呈现亮蓝色（左）；而传统玻璃充填物显惰性为暗灰色（右）

（五）表面扩散处理

1. 传统表面扩散处理红宝石

（1）方法

利用高温使外来的Cr离子进入浅红色刚玉样品表面晶格，形成一薄的红色扩散层。

（2）鉴定

颜色　表面扩散处理的红宝石，早期产品多为石榴红色，带有明显的紫色、褐色色调。新产品可有不同深浅的红色，但颜色不十分均匀，常呈斑块状。

放大检查　当将样品浸在二碘甲烷中用漫反射光观察时，可见红色多集中于腰围、刻面棱及开放性裂隙中，但这种颜色的集中现象没有表面扩散蓝宝石表现得明显（见图3-1-197）。



图3-1-197 浸液中观察合成红宝石（左）、扩散处理红宝石（中）、天然红宝石（右）的特征

荧光　表面扩散处理的红宝石在短波紫外光下可有斑块状蓝白色磷光。

二色性　样品可具有模糊的二色性，有时表现出一种特殊的黄—棕黄色的二色性。

折射率　表面扩散处理的红宝石具有异常折射率，折射率值最高可达1.80。

2. 传统表面扩散处理蓝宝石

（1）铁、钛扩散处理蓝宝石

1）方法：

铁、钛扩散处理蓝宝石的技术出现于20世纪80年代，是在高温下通过不同的致色剂的扩散，在无色或浅色刚玉表面可产生不同的颜色。使用Cr和Ni作致色剂在氧化条件下可产生橙黄色扩散层，使用Co作致色剂可产生蓝色扩散层。国内市场上见到的主要是用Fe、Ti作致色剂的扩散蓝宝石。扩散处理只能在样品表面形成一很薄的颜色层，根据这一颜色层的厚度又可将扩散分为I型扩散处理和Ⅱ型扩散处理两种。I型扩散处理蓝宝石表面颜色层厚一般为0.004～0.1mm，Ⅱ型扩散处理蓝宝石表面颜色原厚度可达0.4mm。

2）鉴定特征：

颜色　I型扩散处理蓝宝石为灰蓝色、蓝色表面常有一种水淋淋、灰蒙蒙的雾状外观，而Ⅱ型扩散处理蓝宝石则为清澈的蓝色、蓝紫色，颇似天然优质蓝宝石。

放大检查　将样品置于贴有半透明白色塑料薄膜的玻璃板上方，利用来自下部的透射的光照明。观察时，颜色在样品腰围及交棱处集中，I型扩散处理蓝宝石呈现出明显的“黑圈”和“蜘蛛网”图案。另外样品总体颜色不均匀，不同刻面上的颜色深浅有差异。而Ⅱ型扩散处理蓝宝石的上述现象均表现得不明显。样品的开放裂隙及表面凹坑处可有颜色富集现象。扩散处理蓝宝石在浸液中观察的特征见图3-1-198。

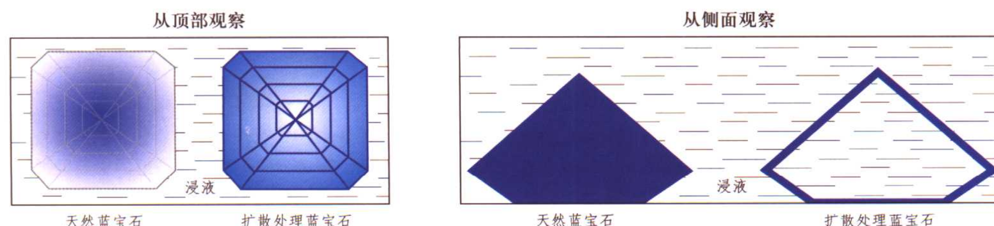


图3-1-198 天然蓝宝石和扩散处理蓝宝石在浸液中观察的特征对比

荧光　某些表面扩散处理蓝宝石在短波紫外光下可有白垩状蓝色或绿色荧光而另一些样品在长波紫外光下可有蓝色、绿色甚至于橙色荧光。

紫外—可见光光谱　天然蓝宝石含有丰富的杂质元素，其中Fe^{2+}、Ti^{4+}离子对的存在将产生以565nm为中心的吸收，这一吸收决定了蓝宝石的蓝色；而Fe^{2+}、Ti^{4+}离子对的浓度将决定蓝宝石蓝色的深浅。天然深色蓝宝石除含有上述的Fe^{2+}、Ti^{4+}离子对外，还含有较丰富的Fe^{3+}离子，因此天然深色蓝宝石的紫外—可见光光谱除有565nm为中心的吸收外，还有由Fe^{3+}离子引起的327nm、388nm、450nm的吸收。

扩散处理蓝宝石其原石多为无色或浅色蓝宝石，样品中可含少量Fe^{3+}离子，但缺失Fe^{2+}离子和Ti^{4+}离子，在扩散处理中，特别是在深层扩散处理中，样品中原有的Fe^{3+}离子，全部转为Fe^{2+}离子，Fe^{2+}离子与扩散进入样品表面的Ti^{4+}离子形成离子对，产生样品的蓝色。因此扩散处理，特别是Ⅱ型扩散处理即深层扩散处理蓝宝石内缺失Fe^{3+}离子，因此其紫外—可见光光谱仍存在565nm为中心的吸收，但由Fe^{3+}离子引起的吸收峰将消失（见图3-1-199）。

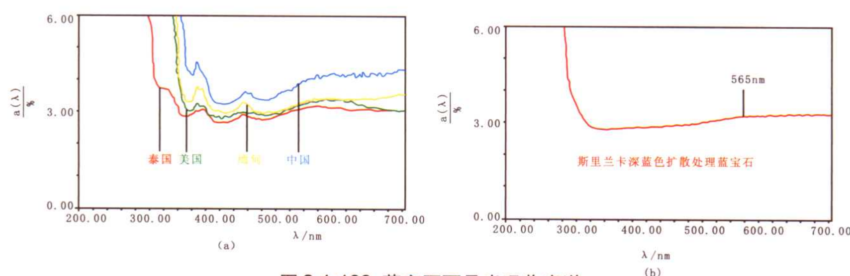


图3-1-199　蓝宝石可见光吸收光谱

(a) 不同产地的深蓝色蓝宝石吸收光谱；(b) 扩散处理蓝宝石吸收光谱

(2) 钴“扩散”处理蓝宝石

1) 方法：

在使用钛对蓝宝石进行扩散处理的同时，人们也尝试用钴替代钛作为致色剂进行表面处理（见图3-1-200）。这种方法可以产生鲜艳的钴蓝色，但是颜色层同样非常薄并没有真正深入到宝石内部。使用钴进行表面处理的蓝宝石在市场上非常少见，只是偶尔可以检测到。目前还不能确定这种颜色是经过扩散进入的，还是某种其他形式的表面处理方法。

2) 鉴定特征：

颜色为鲜艳的钴蓝色，宝石表面可以见到许多颜色略浅的斑点，棱线处会出现颜色变浅的现象（见图3-1-201）。

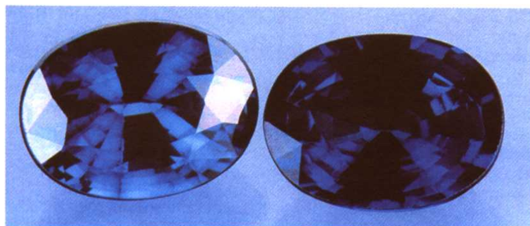


图3-1-200　图中两颗蓝宝石分别重2.74、2.23ct，左边的为传统的钛扩散处理，右侧较深的一颗表面有一薄层含有钴元素

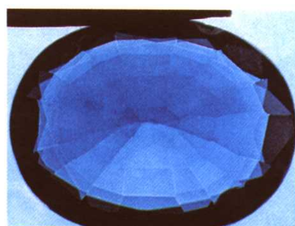


图3-1-201　在浸液中观察钴致色的蓝宝石，颜色分布不规则是很好的鉴定证据

宝石的折射率超出折射仪测量范围。

分光镜观察可见明显的三条吸收带，即钴吸收谱。

3. 新型铍扩散处理红、蓝宝石

(1) 方法

2002年初，一些经新技术处理的刚玉宝石在没做任何声明的情况下流向世界珠宝市场，经调查这些宝石来源于泰国。AGTA于2002年1月8日首先向世界各大珠宝实验室报道了这一情况，并很快发现这是一种经铍（Be）扩散处理的刚玉宝石，且颜色种类丰富（见图3-1-202）。



图3-1-202 铍（Be）扩散处理的各种颜色刚玉宝石

Be扩散处理刚玉宝石可产生黄色、橙色或者棕色色调，主要是把无色或近无色的刚玉处理成各种黄色和橙色。处理后的颜色很像天然的帕德玛（Padparadscha）蓝宝石。这种方法还可以减少蓝宝石中过重的蓝色调，经处理的中国山东蓝宝石颜色明显变浅。

这种新技术处理刚玉宝石是在高温氧化条件下进行Be扩散的，与早期的Ti扩散处理不同（在宝石表面产生很薄的蓝色层），Be元素可以进入到宝石内部较深的地方，有时整个宝石都可产生颜色。随着Be扩散深度的不断增加，宝石颜色也会发生变化，从黄—橙黄—粉橙—橙粉—橙色—橙红—红色（见图3-1-203）。



图3-1-203 铍（Be）扩散处理刚玉宝石的颜色和处理时间有关

颜色的改变并不是处理后的唯一结果，在很多Be扩散处理刚玉表面还发现典型的刚玉外生长层，它们在重切后仍旧保留下来。另外，裂隙和水铝矿管道在处理过程中会发生愈合。

(2) 鉴定

诊断性证据

1) 大型仪器检测　判定刚玉是否经铍扩散处理的科学方法是采用大型仪器来测定刚玉中铍的含量。使用次离子质谱仪（Secondary Ion Mass Spectrometry，简称SIMS）对刚玉表面进行分析发现，天然刚玉宝石表面铍的浓度为1.5～5ppma，而经铍扩散处理的刚玉表面铍的浓度为10～35ppma。在检测过程中，如果铍含量在10ppma以下时，则应做多点测试以确认该宝石是否为铍扩散处理。

此外，等离子质谱仪（LA-ICP-MS）和X射线荧光能谱仪（EDXRF）检测也是进行化学成分分析的有效手段，分析数据表明经铍扩散处理的刚玉中铍呈有规律的分布，近表面浓度大，往中心浓度逐渐降低。

色域　在二碘甲烷浸液中观察铍扩散处理的刚玉宝石可以发现，扩散的颜色可以从宝石表层达到内部的任何深度，有时甚至穿透整颗宝石，这主要决定于处理时间的长短。处理后的颜色区域可以是黄色、橘红色，偶尔也会有无色；被色域包裹的中心一般是粉红和红色，也可能是无色、蓝色或是其他色（见图3-1-204）。铍扩散的颜色有时会叠加在天然色带上。

铍扩散处理还可以使颜色过深的蓝宝体色明显变浅。将样处理后的刚玉浸入二碘甲烷中，依稀可见蓝色体色的外围有浅浅的一层无色—黄色的色域包围着整颗宝石（见图3-1-205）。

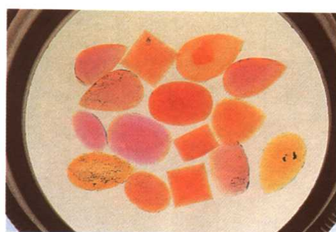



图 3-1-204 在二碘甲烷浸液中观察铍扩散处理的刚玉宝石（左）和天然刚玉宝石（右）的特征对比



图 3-1-205 在二碘甲烷浸液中观察铍扩散处理蓝宝石表面的近无色层

2) 其他证据　以下特征并不能确定刚玉经过了铍扩散处理，但是可以证明刚玉经历了高温处理（温度远高于刚玉的一般热处理），而这样的高温正是铍扩散处理所需要的。因此，当在红蓝宝石中看到这样的特征，意味着其颜色的来源值得怀疑。

锆石包体　传统热处理后，刚玉中的锆石晶体依然保持原来的形状——透明角状或浑圆微粒状晶体（见图 3-1-206）。与之不同，刚玉在经历高温后锆石变为不规则的白色小点（见图 3-1-207），还经常包含有气泡（见图 3-1-208）。

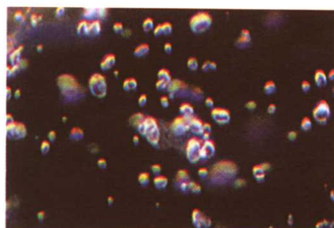


图 3-1-206 未被破坏的锆石包体看起来是透明的球状微粒

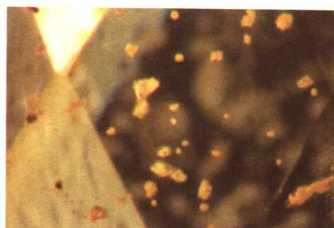


图 3-1-207 经铍扩散处理后，锆石晶体变成白色不规则形



图 3-1-208 经过高温的锆石包体常常包含气泡

内部的重结晶　铍扩散处理所需的高温会造成刚玉内部出现某种形式的重结晶。第一种就是锆石的重结晶。传统热处理锆石包体周围出现圆盘状裂隙，而包体本身没有破裂；环绕在锆石晶体或其他晶体周围的裂隙具有玻璃状外观而且反光（见图 3-1-209）。经铍扩散处理后也可能出现这样的裂隙，但是因为锆石被融化，熔融物随之流入圆盘状裂隙中。随着温度的降低，熔融物逐渐的重结晶，锆石小晶体在圆盘状裂隙中呈不透明的蕨类植物状（见图 3-1-210），偶尔会看到干涉色。圆盘状裂隙有时也会出现愈合的情况，在圆盘裂隙的中的锆石变成一个白色的小气泡。

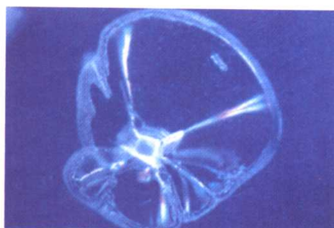


图 3-1-209 普通的热处理（未经铍扩散处理）的蓝宝石在锆石周围会产生圆盘状裂隙，但晶体未遭破坏

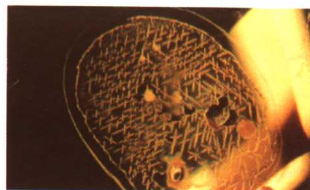




图 3-1-210 经铍扩散处理的蓝宝石圆盘状裂隙中有蕨叶状锆石的重结晶现象

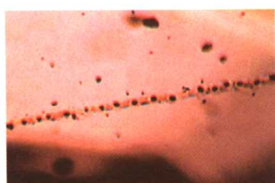
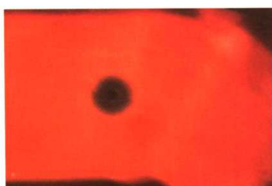

图 3-1-211 重结晶的管道内部经常包含小的空心球体


图 3-1-212 中空的骨状物

第二种类型是水铝矿被熔蚀后，重结晶的刚玉出现在水铝矿的管道中，并形成混浊状的外观，使用透射光观察更明显。新的管道中经常包含许多空心的球体（见图3-1-211）或骨状体（见图3-1-212）。

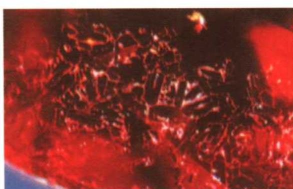

图 3-1-213 热处理的蓝宝石中的蓝色晕圈

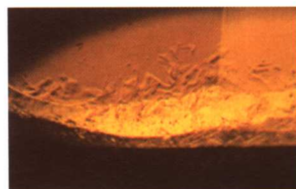

图 3-1-214 黄—橙的蓝宝石中金红石周围的扩散晕

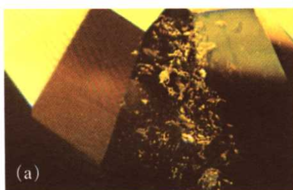
内部扩散　传统热处理的蓝宝石中，经常会在金红石晶体周围出现一个蓝色晕圈或在金红石先前的所在位置出现蓝色的斑点（见图 3-1-213）。但是这种现象极少在红宝石和黄—橙红的蓝宝石中出现，因为这些宝石的热处理都是在氧化环境下进行的，而氧化环境会去除蓝色调。所以当在红宝石和黄到橙红的蓝宝石中看到蓝色晕圈的现象可作为该宝石曾经历过高温的证据（见图3-1-214）。但是，值得注意的是有的产地的黄色蓝宝石（比如美国蒙大拿州），传统热处理方法所使用温度很高（并非扩散），也足以产生这样的蓝色斑点。因此当出现这样的特征时值得怀疑经过了铍扩散，但不能确定证明。

高温优化处理环境下的附晶（synthetic overgrowth）生长　刚玉在任何高温的处理环境下都会附晶生长，但是刻面铍扩散处理红蓝宝石所出现的附晶生长却是与众不同。新生的小晶体并没有覆盖整个宝石刻面，而是呈细小的板状存在于表面的空洞中。尽管这些小的晶体经常在抛磨中被去除，但在部分成品表面总会留下一些痕迹，特别是那些黄色到橙红色的蓝宝石。这正是经历了高温后的证明。

这些在铍扩散过程中新生的小晶体生长都是随机的，然后逐渐长成扁平状和六边形状，他们的数量和体积都远远大于传统热处理所产生的小晶体。当他们逐渐长大聚集，就形成了由不规则块状体组成的固态层（见图3-1-215），有时候还会在这些小晶体之间出现一些细小的空隙和云雾状包体。这些物质在刚玉表面形成一层附着晶体（见图 3-1-216）。尽管这种附晶生长常常在暗域照明中看到，但用透射光更容易看清楚，外观混浊（见图 3-1-217）。因为这些新生小晶体的定向与主晶宝石不同，在正交偏光下小晶体呈现亮时主晶宝石是暗的。（见图 3-1-218）。


图 3-1-215 铍扩散处理宝石表面常出现重结晶的多晶刚玉聚合体


图 3-1-216 透射光下的附着晶体



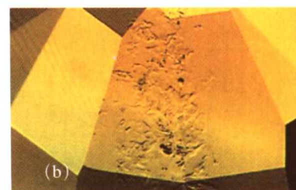


图 3-1-217 附着晶体在暗域照明（a）和透射光照明（b）下的对比

Mong Hsu 红宝石经热处理后也会有附晶生长的情况，有时出现在凹坑表面，有时和铍

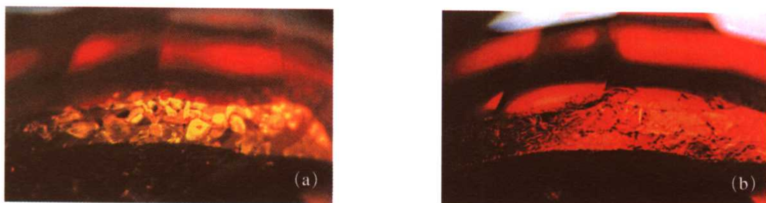


图 3-1-218 随机生长的附着晶体在不同照明情况下的现象
(a) 偏光照明；(b) 暗域照明

扩散的附晶生长特征相同。凹坑内附着细小六边形的板状物，并有玻璃质残余充填。这就表明这些宝石经过的热处理是以往没有过的高温，但是没有见到热处理后的黄—橙色蓝宝石出现这样的情况。

其他包体　除锆石外，其他晶体也在高温扩散处理下发生了明显变化。这些白色无定型的小包体已无法分辨，但在高温下遭到破坏的证据是十分明显的。铍扩散处理的刚玉另一特征就是内部的空穴被玻璃质充填，并含有球形气泡。

4. 表面扩散处理星光宝石

刚玉宝石经表面扩散处理可产生星光蓝宝石和星光红宝石。表面扩散处理的星光蓝宝石在我国已经面市，其折射率、密度等物性常数及气液包体等特征与天然蓝宝石相同，与天然星光蓝宝石鉴别可以从以下几方面入手：

颜色　表面扩散处理星光蓝宝石整体为具黑灰色色调的深蓝色，表面特别是在弧面形宝石的底部或裂隙内存在着红色斑块状物质。

"星光"特点　"星光"完美，星线均匀，颇似合成星光蓝宝石。在批量样品中，过于完美、过于整齐的星光特点与天然星光特点不符。

放大检查　显微镜下观察可发现"星光"仅局限于样品表面。弧面形宝石表面有一层极薄的絮状物，它们由细小的白点聚集而成，即使在电子显微镜放大3000倍的条件下也未发现天然星光蓝宝石中存在的三组定向排列的金红石细针。

荧光　在长、短波紫外光下样品无反应。而部分样品表面具有的红色色斑可发红色荧光。

化学成分　样品表面 Cr_2O_3，含量异常，$w(Cr_2O_3)$可达4%。由于样品表面的高铬含量，在油浸中观察，样品表面呈现红色，并具有一轮廓清晰的突起很高的红色色圈。

七、刚玉宝石的质量评价

（一）红、蓝宝石的颜色质量评价

红、蓝宝石的颜色是质量评价的关键因素，它同时也受净度、切工质量的影响。在此首先介绍红、蓝宝石颜色质量评价应注意的几个方面。

1. 颜色

评价红、蓝宝石颜色质量时首先应判断宝石的颜色色调。即主色调和附色调，天然产出的红蓝宝石不可能表现单一的光谱色，往往红宝石以红色为主，其间可有微弱的黄色、蓝紫色色调；蓝宝石以蓝色为主，其间可有微弱的黄色、绿色色调。原则上讲，红、蓝宝石的颜色，越接近光谱色，颜色质量越高，附色调所占比例越大，颜色就越不纯，颜色质量就越低。根据色调，红宝石可分出红色、橙红色、褐红色、粉红色、紫红色，其中以纯红色为最佳色。

同样，根据色调蓝宝石可分为纯蓝、紫蓝、乳蓝、黑蓝、绿蓝等色，其中以中等明度的，没有绿色色调的纯蓝色为最佳色。

2. 内反射和内反射色

红、蓝宝石的颜色质量好坏，不仅仅取决于表面的反射色或透射色，同时还取决于它的内反射范围以及内反射色颜色特点。在光源的照射下，成品红、蓝宝石正面表现的颜色，实际上是一种反射色、内反射色、荧光色的综合颜色效应。内反射及相应的内反射色又俗称为“火”。高质量的红宝石，其由内反射引起的色泽的闪耀部分（即“火”）在整个冠部所占面积要求＞55%，高质量的蓝宝石其“火”所占面积要求＞60%。

光的内反射作用不仅使宝石表面产生闪烁感，增加宝石的光亮度，同时还会产生不同色调的内反射色（由于对光的吸收程度不同）。内反射色可增加宝石的浓度和鲜艳感，不同色调、不同浓度的内反射色与宝石的表面反射色形成一幅图画，高质量的红、蓝宝石要求其内反射色颜色鲜艳，图画内颜色色调搭配均衡。如高质量的斯里兰卡蓝宝石表面为淡蓝色，其内反射色为翠蓝色，翠蓝色与淡蓝色相配成为一种高质量的蓝色组合。

3. 颜色的均匀程度

高质量的红、蓝宝石颜色应是均匀的。当从垂直台面方向观察宝石，其色带或色斑肉眼清晰可见时，宝石颜色质量将下降。

4. 多色性

红、蓝宝石是具有多色性的宝石。研究这部分颜色时，是以台面朝上观察结果为准。在垂直台面观察时，应尽量避免出现多色性。对于颜色过深或过浅的刚玉宝石，切割时应使其最佳颜色在台面上展现出来。

（二）红、蓝宝石的净度质量评价

在确定红、蓝宝石的净度质量时，需考虑两个问题：①需考虑瑕疵的大小、数量、位置、对比度，是否严重影响宝石的透明度。当瑕疵很大，肉眼可见，或瑕疵虽不是很大，却呈细小的分散状分布，且影响了宝石的透明度时，净度级别将降低。②需考虑瑕疵对宝石耐久性的影响，如较大的裂隙使宝石的耐久性受到影响时，净度质量亦下降。

（三）红、蓝宝石的切工质量评价

红、蓝宝石的切工质量评价需考虑琢型、比例、对称性、修饰度几个方面。

红、蓝宝石最常见的切磨形状是椭圆型、短矩型，其次为圆多面型、祖母绿型。

比例主要包括琢型的长宽比和全深比。全深比是指琢型的腰宽相对于宝石高度的比值，红、蓝宝石可接受的全深比在60%～80%之间。长宽比视不同琢型而有差异，通常以协调悦目为好。

对称性，是指外形轮廓是否对称，底尖是否偏心，台面是否倾斜等对称要素。对于红、蓝宝石来讲，如果肉眼很难找到上述对称要素的不对称表现时，便称为对称性好。

修饰度，是指刻面排列是否整齐，是否有额外刻面，对琢型总体比例影响不大的偏差及抛光质量等。在红、蓝宝石总体质量评价时，修饰度的影响相对较小。

（四）红、蓝宝石的质量分级评价体系

近年来红、蓝宝石的质量分级评价受到国际珠宝界的广泛重视，一些研究单位、个人纷纷投入力量，推出有关的分级体系，但是由于彩色宝石质量分级评价的众多困难，目前国际

上尚没有一个统一的标准。这其中较具代表性的有泰国亚洲珠宝学院（AIGS）的分级评价体系和日本Yasakaza Suwa先生的分级评价体系。

1. AIGS分级系统

AIGS是一套以实物为标石的分级系统，与钻石的4C分级系统有相似之处，即采用颜色、净度、切工、重量4个因素对红、蓝宝石进行质量分级评价。与钻石的4C分级系统不同点有：①针对红、蓝宝石色带较发育的特点，在对样品进行颜色分级时，考虑了色带对整体颜色及外观的影响程度，进而对色带进行了分级。②在净度分级时考虑了红、蓝宝石普遍含有包体，直接根据肉眼（而不是10倍放大镜）对包体的感觉程度，将净度级别分为纯净、极小包体、中等包体、可见包体、严重包体5个大级。③在切工分级中，又将切工的比例、对称程度、抛光修饰程度作为单独的因素分开来评价。

该分级系统带有某种主观性，但其实物标石给人们提供了可比性和可信性，本书着重介绍该系统的颜色分级。

（1）颜色分级

AIGS分级系统首先使用东芝U-4001型分光光度计，对红、蓝宝石标石进行透过率和吸收率的测试，再将测试结果和数据转换成颜色指数进行分类。

待测样品可用肉眼与标石进行对比，同时还可用U-4001分光光度计进行测试对比。根据颜色类型红宝石可划分出5个类型，蓝宝石也可划分出5个类型。

1）红宝石的颜色分类

红色　纯红色，略带紫罗兰色或褐色，刻面交棱处颜色发暗。

橙红色　较强橙色调的红色。

深红色　纯正的红色，但颜色较深，在垂直接受到光照时，刻面交接处几乎为黑色。

带粉红色的红色　一种较深的粉红色—红色，往往不带紫罗兰色或褐色。

粉红色　粉红色。

每种颜色类型再根据饱和度和明度分为6个颜色等级：深色、极好、很好、好、一般、差。

2）蓝宝石的颜色分类

紫—蓝色　深蓝色，刻面交棱处带黑色调。

带牛奶色调的蓝色　带乳白色或银灰色丝绢光泽的蓝色。

蓝色　一种“矢车菊”蓝，比紫—蓝色颜色明亮。

黑水蓝色　深蓝色，常常带有一点绿色色调，吸收光谱中铁线明显。

绿蓝色　具有较明显的绿色色调的蓝色。

蓝宝石也根据饱和度及明度把每个类型的颜色分为6个颜色等级：深色、极好、很好、好、一般、差。

（2）色带分级

在颜色分级的基础上对色带进行分级，即在日光灯下，距宝石20cm处，肉眼从冠部的各个角度对色带进行观察，根据其明显程度划分出不同的级别（见表3-1-20）。

（3）净度分级

在日光光源下，距离宝石20cm处进行肉眼观察，根据观察结果将净度分为8个级别（见表3-1-21）。

表 3-1-20 AIGS 颜色色带级别

色带级别	色带对宝石外观的影响程度	肉眼观察
弱	有极小的影响	可见
中	有影响	明显可见
强	有显著影响	极明显可见

表 3-1-21 AIGS 红、蓝宝石净度级别

	净度分级	台面朝上净度特点	肉眼观察难易程度
1	纯净	总体观察宝石无表面缺陷、无包体	不可见
2	极小包体 I （LI_1）	极小包体及表面缺陷对宝石透明度和外观无明显影响	极难见
3	极小包体 II （LI_2）	小包体及表面缺陷对宝石透明度和外观无明显影响	难见
4	中等包体 I （MI_1）	包体及表面缺陷对宝石透明度和外观无明显影响	易见
5	中等包体 II （MI_2）	包体及表面缺陷对宝石透明度和外观有小的影响	很易见
6	可见包体 I （VI_1）	包体及表面缺陷对宝石透明度和外观有影响	极易见
7	可见包体 II （VI_2）	包体及表面缺陷对宝石透明度和外观有明显的影响	极易见
8	严重包体（HI）	包体及表面缺陷对宝石透明度和外观有极明显影响	极易见

（4）切工分级

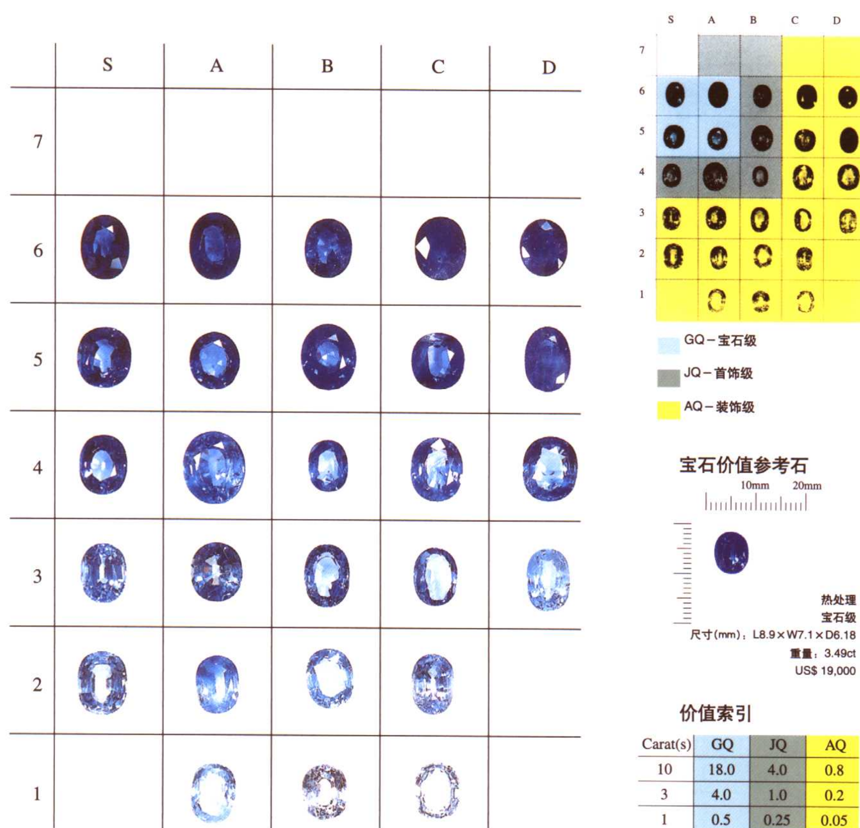
AIGS在对红、蓝宝石的切工分级时，考虑了长度、宽度、深度百分比、腰厚、偏心底面、亮度、台面宽度、冠高、冠部角度等9个因素。在对这9个因素进行综合考虑的基础上，将切工分为极好、很好、好、一般、差5个级别。

2. Yasukazu Suwa 的分级系统

Suwa的红、蓝宝石的分级系统，是以实物样品、照片为参照物的一个分级系统，综合考虑产地、优化处理、颜色、美丽度、缺陷和大小等多种因素。该分级系统采用二维坐标，横坐标代表样品的美丽程度，美丽程度不仅表示样品颜色的好坏，而且也是样品颜色、色调、透明度、净度、火彩等因素共同作用的一个综合指数，分为五个级别：S级——明亮极美丽，A级——非常美丽，B级——美丽，C级——美丽但有缺陷，D级——不美丽；纵坐标表示样品颜色的深浅，共分为7个级别：7为深色，5为中等深浅，3为浅色，1为极浅。

根据样品的美丽程度和颜色深浅的综合考虑，最终将红、蓝宝石的级别分为3级，即宝石级、首饰级、装饰级。宝石级为最高质量级别的宝石，随着质量的降低，依次为首饰级、装饰级。

此系统还针对不同宝石种提供了一颗参考石的价格，根据价值索引可以计算出相同品种、产地，不同尺寸、质量级别的宝石价格（见图3-1-219）。Suwa的分级系统是一个相对简练、商用性较强的质量分级系统。



Carat(s)	GQ	JQ	AQ
10	18.0	4.0	0.8
3	4.0	1.0	0.2
1	0.5	0.25	0.05

图 3-1-219 Yasukazu Suwa 蓝宝石的分级系统

八、刚玉宝石的产状、产地简介

刚玉宝石的原生矿床主要有两种成因：①形成于地幔的高温高压条件下，随岩浆喷出地表。②区域变质作用或接触变质作用条件下，由一水硬铝石等变质而来。

红宝石的矿床类型很多：主要产于深变质岩系的大理岩中；产于含钙长石、蛭石和奥长伟晶岩中；产于强变质层状斜长岩杂岩体中；产于玄武岩中；产于片麻岩、变粒岩、云母片岩中。著名产地有缅甸的抹谷、阿富汗、原苏联帕米尔地区、巴基斯坦北部的罕萨（HunZa）、坦桑尼亚的翁巴地区，澳大利亚、泰国以及柬埔寨、越南等。

蓝宝石的矿床类型主要有：产于玄武岩特别是碱性橄榄玄武岩中；产于花岗伟晶岩同白云母岩石内外接触带中，产于正长岩与大理岩内接触带中；产于碱性—基性煌斑岩中；产于超基性岩交代岩—云母岩中。著名产地有澳大利亚的新南威尔士州、中国山东昌乐地区、泰国、柬埔寨、老挝和越南南部地区、印度克什米尔地区、斯里兰卡、美国蒙大拿州。

第三节 祖 母 绿

祖母绿是绿柱石中最为重要和名贵的品种，被世人称为“绿色宝石之王”。它与钻石、红宝石、蓝宝石、猫眼被视为大自然赋予人类的“五大珍宝”。祖母绿青翠悦目，作为五月的生辰石，它的颜色代表着春天的来临。

一、祖母绿的基本性质

（一）矿物名称

祖母绿（Emerald）的矿物名称是绿柱石。在矿物学中属绿柱石族。

（二）化学成分

祖母绿是铍铝硅酸盐矿物，化学式为$Be_3Al_2(Si_2O_6)_3$，含有Cr、Fe、Ti、V等微量元素，Cr的质量分数在0.3%～1.0%左右。

其结构中$[Si_6O_{18}]$组成六方柱状空管，$[Si_6O_{18}]$与Be原子以四面体的形式结合，又与Al原子以八面体结合，六方柱状的空管内可含水分子（可高达2%）和碱性离子如Na^+、K^+、Cs^+。Cr元素一般呈Cr^{3+}离子，当Al取代$[Si_6O_{18}]^{12-}$中的Si形成$[A1O_6]^{6-}$离子团时，Cr取代结构中的Fe离子和Al离子。

空管内所含的水分子有两种形式，当空管中没有碱性金属离子时，水分子H-O-H平行于六方柱的长轴，称为I型水。当空管中有碱性金属离子出现时，水分子中氧被碱性金属离子吸引，水分子以第二种形式排列，称为II型水。天然祖母绿中可同时见I型水和II型水。

（三）晶系与结晶习性

祖母绿属六方晶系。

结晶习性：六方柱状晶体，常见单形有六方柱$m\{10\bar{1}0\}$、$a\{11\bar{2}0\}$；六方双锥$s\{11\bar{2}1\}$、$p\{10\bar{1}1\}$、$o\{11\bar{2}2\}$；平行双面$c\{0001\}$（见图3-1-220）。柱面发育有平行于Z轴的纵纹。大多数晶体能具有完美的形状（见图3-1-221）。

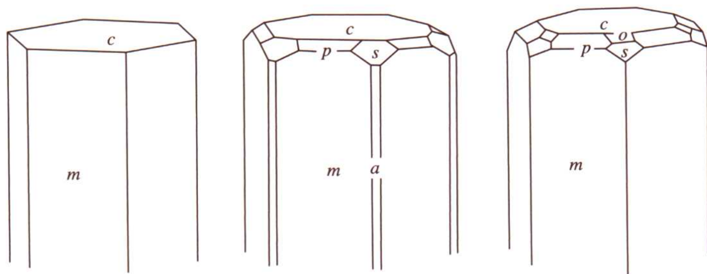


图3-1-220 祖母绿的晶体形态



图3-1-221 祖母绿晶体

（四）祖母绿的光学性质

1. 颜色

祖母绿为Cr致色的特征的翠绿色，可略带黄或蓝色色调，其颜色柔和而鲜亮，具丝绒质

感，如嫩绿的草坪。由其他元素如Fe^{2+}致色的浅绿色、浅黄绿色、暗绿色等绿色的绿柱石，均不能称为祖母绿，而只能叫绿色绿柱石。目前如何精确地划分祖母绿和绿色绿柱石，还是一个研究性的问题。有学者用DIN6164颜色表作色板来对比颜色，希望客观将祖母绿与绿柱石划分开，但是仍存在着局限性。目前常用的界线是，看是否含有Cr或具铬吸收线。

祖母绿的翠绿色是由内部的Cr或V取代晶体结构［AlO_6］$^{6-}$离子团中的Al而致色的，Cr、V含量的多少，直接影响着祖母绿绿色的深浅程度。含量越高，绿色越深。一般Cr_2O_3，含量能达到0.1%时，手持分光镜就能看到铬吸收线。V含量一般较少，因此光谱中仅见到铬吸收谱线。

2. 光泽与透明度

抛光表面为玻璃光泽，断口表面为玻璃光泽至树脂光泽；透明到半透明。

3. 光性特征

一轴晶，负光性。

4. 折射率

祖母绿的折射率值常为1.577～1.583(± 0.017)，随着碱金属含量的增加而增大。

双折射率：双折射率的变化范围从0.005～0.009。是由祖母绿中所含的杂质，特别是其结构中位于［Si_6O_{18}］通道中的水和碱性金属引起的。不同产地的祖母绿双折射率稍有不同，(见表3-1-22)。

5. 多色性和色散

多色性：中等至强，蓝绿、黄绿。

色散：0.014。

6. 发光性

紫外荧光：一般无荧光。有时在长波紫外线下，呈无或弱绿色荧光，弱橙红至带紫的红色荧光；短波紫外线下，少数呈红色荧光。

X荧光：呈很弱至弱的红色荧光。可见到短时间与体色相近的磷光。所有的祖母绿在X射线下均呈透明。

7. 查尔斯滤色镜检查

绝大多数的祖母绿在强光照射下，透过滤色镜观察，呈红或粉红色。值得一提的是以往将查尔斯滤色镜下的反应作为鉴别祖母绿的主要依据，曾一度造成一些产地的祖母绿被误认为是祖母绿的仿制品。如印度和南非的祖母绿因内部含有铁，在滤色镜下呈现绿色，曾被认为是祖母绿的仿制品。现在滤色镜下的荧光反应已不再是鉴别祖母绿的依据，而只是祖母绿的一种宝石学特征。

8. 吸收光谱

主要呈现铬的吸收线。红区683nm、680nm强吸收线，662nm、646nm弱吸收线；橙黄区630～580nm间有部分吸收带；紫区全吸收（见图3-1-222)。

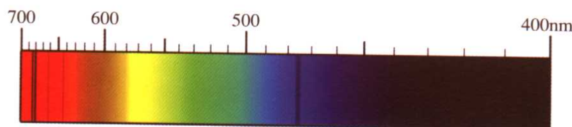


图3-1-222 祖母绿的吸收光谱

世界主要产地祖母绿的物理性质特征（见表3-1-16)。

表 3-1-22 世界主要产地祖母绿的物理性质特征

产出国	产地	颜色	$\frac{\rho}{g\cdot cm^{-3}}$	n	双折射率	紫外荧光		查尔斯滤色镜检查
						LW	SW	
哥伦比亚	契沃尔	蓝绿	2.69～2.71	1.573～1.579	0.005～0.006	强红	强红	一般强红
	姆佐	微蓝翠绿	2.70 ±	1.570～1.580	0.005～0.006	强红	强红	一般强红
	鲍雷		2.70	1.569～1.576	0.007	强红	强红	一般强红
	达碧兹	深绿	2.70～2.73	1.569～1.575 1.573～1.580	0.006～0.007			一般强红
巴西	巴黑额和卡纳巴	浅绿—翠绿	2.67～2.72	1.566～1.572 1.575～1.582	0.006	无	无	红
	依坦毕拉	黄绿—绿	2.67～2.75	1.580～1.589	0.009	无	无	红色调绿
俄罗斯	乌拉尔	带黄的绿	2.71～2.75	1.580～1.588	0.006～0.007	无		红
津巴布韦	桑达瓦纳	深绿	2.744～2.768	1.584～1.590	0.006	无	无	极弱红
坦桑尼亚	曼亚拉	黄或蓝绿	2.72 ±	1.578～1.585	0.006			少数呈红
赞比亚	米柯	深绿，灰绿，蓝绿	2.74～2.80	1.580～1.602	0.006～0.010			强红至绿
尼日利亚		蓝绿色	2.67 ±	1.564～1.574	0.006	无	无	
南非	柯布拉	浅至深绿	2.75 ±	1.586～1.593	0.007	无	无	暗绿，少红
马达加斯加		蓝绿色	2.68～2.71	1.580～1.591	0.008～0.009	无		
印度	卡里古门	浅至深绿	2.73～2.74	1.585～1.595	0.007	无	无	暗绿，少红
澳大利亚	波那	深绿	2.69 ±	1.572～1.578	0.005～0.007			浅至极浅棕，粉
巴基斯坦	东部	蓝绿，暗绿	2.75～2.78	1.588～1.600	0.005～0.007			浅粉
阿富汗		淡绿，淡蓝绿	2.68～2.74	1.574～1.588				浅红，绿
奥地利	哈巴克托	深绿	2.72～2.76	1.584～1.591	0.007	红至无	红至无	红至浅粉
挪威	爱德斯法		2.68～2.759	1.583～1.590	0.007	红	红	强红至暗棕
美国	北卡罗里纳州		2.73 ±	1.580～1.588	0.008			红
中国	云南		2.71 ±	1.582～1.588	0.006			微红，绿
	新疆	蓝绿色	2.69～2.74	1.580～1.589	0.007～0.008	无	无	弱红色
加拿大		蓝绿色	2.70～2.76	1.579～1.591	0.007～0.008	无	无	

（五）祖母绿的力学性质

1. 解理

平行{0001}方向具一组不完全解理；断口呈贝壳状至参差状。

2. 硬度

摩氏硬度为7.5～8。

3. 密度

2.67～2.90g/cm³，通常为2.72g/cm³。祖母绿的密度大小受碱金属含量大小影响，碱金属含量越高，密度越大。因产地不同可稍有差异。

（六）祖母绿的内外部显微特征

祖母绿内部特征一般可分为四大类：矿物包体，负晶或空洞中的两相或三相包体，愈合或部分愈合裂隙及色带、生长纹等。

1. 矿物包体

（1）云母

常具浑圆状外形的薄片，呈半透明，可有无色、褐色、黑色或绿色。许多产地的祖母绿中都含云母包体，赞比亚的祖母绿中云母呈黑色小斑点出现。

（2）透闪石—阳起石

常呈叶片状、短柱状或针状出现，透明至半透明，在桑达瓦纳祖母绿中呈弯曲或破碎纤维状，在奥地利祖母绿中也有相似的形态。俄罗斯祖母绿中的阳起石可呈短柱状，具横向裂隙，看似竹节。

（3）黄铁矿

呈黄色，光泽强，棱角圆滑，有些晶形发育完整。常出现于哥伦比亚契沃尔和巴西产的祖母绿中。

（4）方解石

呈无色，半透明，菱形晶体或不规则的侵蚀残晶，常见于姆佐祖母绿中。

（5）赤铁矿

呈褐红至黑色，反射光下显褐红色，不透明，外形界线圆滑。常见于津巴布韦桑达瓦纳的祖母绿中。

（6）其他矿物包体

分别在不同的产地可见有一些特色的包体，如姆佐祖母绿矿中可见有半透明褐色的氟碳钙铈矿柱状晶体；在澳大利亚和某些俄罗斯祖母绿中可见有锡石晶体和不规则毒砂矿物的白色斑块；还有金红石、硅铍石、长石等。

2. 负晶或空洞

祖母绿中可有小于一毫米至几毫米的空洞，一般平行Z轴排列，可呈圆形、锯齿状或长而尖的形状。内部可含有两相或三相包体。如哥伦比亚祖母绿内部的三相包体呈圆或长而尖的外形，内含一种液体、一个气泡和一个正方形的岩盐晶体。印度祖母绿中含有两相负晶，当平行Z轴观察时，呈六边形，其他角度呈矩形，矩形角上带一尾巴，外形像逗号。尾巴内含有云母碎块。

3. 愈合或部分愈合裂隙

内部可有液体充填，可被铁质成分浸染而呈黑色或褐色。

4. 色带或生长环带

祖母绿中常见有平行柱面或底面的生长环带或色带，总体呈六边形。

二、祖母绿的品种

除常见的祖母绿外，根据特殊光学效应和特殊现象的品种划分，可将祖母绿分为下面3个品种。

1. 祖母绿猫眼

祖母绿可因内部含有一组平行排列、密集分布的管状包体，而产生猫眼效应（见图3-1-223）。但不常见。



图3-1-223 祖母绿猫眼

2. 星光祖母绿

星光祖母绿极为稀少，仅偶有发现。内部除平行Z轴的管状包体外，还有两个方向的未知微粒，其一方向垂直Z轴。

3. 达碧兹（Trapiche）

这是一种特殊类型的祖母绿，产于哥伦比亚姆佐地区和契沃尔地区，它具特殊的生长特征（见图3-1-224）。姆佐产出的达碧兹在绿色的祖母绿中间有暗色核和放射状的臂，是由碳质包体和钠长石组成，有时有方解石，黄铁矿罕见（见图3-1-225）。X射线衍射证明这种达碧兹是一整个单晶。契沃尔出产的达碧兹祖母绿，中心为绿色六边形的核，由核的六边形棱柱向外伸出六条绿臂，在臂之间的V形区中是钠长石和祖母绿的混合物，X射线衍射证明这种达碧兹祖母绿也是一个单晶，钠长石被包裹在祖母绿的晶体中（见图3-1-226）。

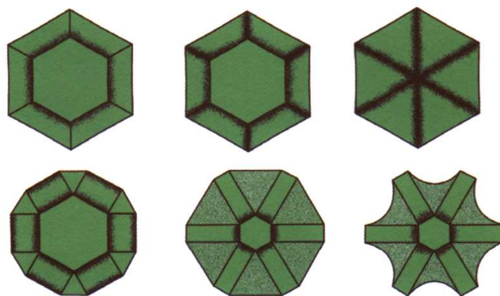


图3-1-224 哥伦比亚达碧兹祖母绿的不同形态

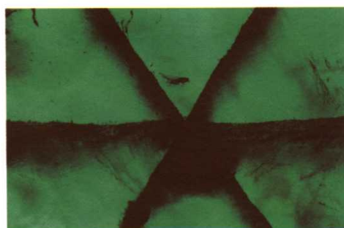


图3-1-225 哥伦比亚姆佐出产的达碧兹



图3-1-226 哥伦比亚契沃尔出产的达碧兹

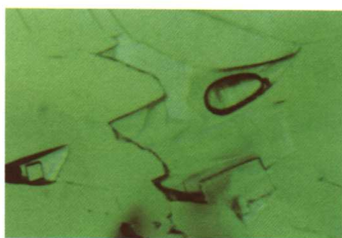
三、世界主要产出国祖母绿的鉴定特征

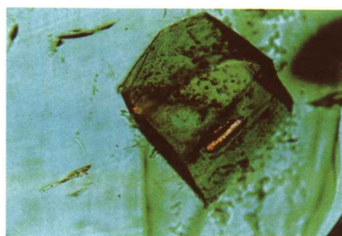
世界上主要的祖母绿产地有哥伦比亚、巴西、津巴布韦、坦桑尼亚等。

1. 哥伦比亚

哥伦比亚祖母绿矿主要位于安第斯山脉东区，考第雷拉区域。主要矿区有姆佐（Muzo）、契沃尔（Chivor）、考斯科韦茨（Cosquez）和伽沙拉（Gachala）等地（见表3-1-22，表3-1-23）。

契沃尔祖母绿的颜色一般呈蓝绿色。密度为2.69～2.71g/cm^3；折射率n_o=1.579，n_e=1.573；双折射率为0.005～0.006。在滤色镜下呈强红色，紫外光下具红色荧光，内部有三相包体（见图3-1-227），且具晶形完好的黄铁矿包体（见图3-1-228）。


图3-1-227 契沃尔祖母绿中的三相包体


图3-1-228 契沃尔祖母绿中的黄铁矿包体

姆佐祖母绿的颜色一般为较深的绿色，稍带黄色色调；密度比契沃尔祖母绿的稍高，为2.70g/cm^3；折射率值n_o=1.580，n_e=1.570；双折射率为0.005～0.006；内部具典型的三相包体，三相包体具分叉状或锯齿状的外形（见图3-1-229）。在契沃尔祖母绿中常见的黄铁矿包体，在姆佐祖母绿中则不见。在姆佐矿黄棕色色调的祖母绿中见有稀土矿物氟碳钙铈矿（见图3-1-230），这可以作为姆佐祖母绿的产地特征。


图3-1-229 姆佐祖母绿中的三相包体


图3-1-230 姆佐祖母绿中的氟碳钙铈矿微晶包体

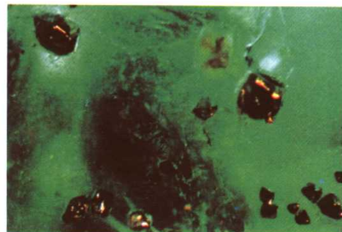
考斯科韦茨祖母绿的颜色范围较宽，其净度范围也较宽，最好的是稍带蓝的暗绿色。

2. 巴西祖母绿

最早发现于1554年，主要的产地分布于巴西的Minas Gerais，Goias，Bahia和Ceara等地区。

巴西祖母绿总体来讲颜色较浅；密度相对较低，一般为2.67～2.75g/cm^3；折射率值和双折射率值也相对较低，折射率值n_o=1.575～1.582，n_e=1.566～1.572；双折射率为0.006。

巴西祖母绿矿有两种产出类型，即伟晶岩型和云母片岩型，伟晶岩型的祖母绿常常是近于无瑕，颜色较浅常给人感觉是绿色绿柱石，但它具Cr吸收线，所以还是祖母绿；而云母片岩型祖母绿常有较严重的瑕疵，如有二相包体、部分愈合的裂隙以及具不规则外形的空洞。特征的矿物包体有：含铬尖晶石、黄铁矿、方解石—白云石（见图3-1-231）、滑石、黑云母—绢云母、石英、透闪石、白云石、磷灰石、赤铁矿等。


图3-1-231 巴西祖母绿中黄铁矿和乳状菱面体白云石包体

巴西祖母绿常经无色油和塑料浸注，以掩盖裂隙，改善颜色。油干后，或浸注物脱落后，原有裂隙就会显露出来，影响美观。

3. 俄罗斯祖母绿

最早发现于1830年，主要产于乌拉尔山脉的亚洲一侧。祖母绿晶体一般较大，但裂隙较发育，所以成品质量很小，俄罗斯祖母绿由于铁含量较高，其颜色为绿色中常有明显的黄色

色调，且颜色比哥伦比亚祖母绿稍淡，只有少部分小粒祖母绿颜色可以很好。密度比其他产地的祖母绿要高，为2.71～2.75g/cm³，折射率为n_o=1.588，n_e=1.580，双折射率为0.006～0.007。俄罗斯祖母绿典型的内部特征是含有单个或晶簇状的阳起石、愈合裂隙、平行Z轴的管状包体、垂直Z轴的片状空洞及生长带等（见图3-1-232）。



图3-1-232 乌拉尔祖母绿中的竹节状阳起石包体

4. 澳大利亚祖母绿

最早发现于1890年。目前主要矿区位于Boona，Menzies等地。Boona祖母绿与石英、钠长石、奥长石、托帕石、电气石、萤石、白云母、黑云母等共生。祖母绿颜色较浅，裂隙发育，有些颜色很好。Boona祖母绿的密度为2.69g/cm³，折射率为n_o=1.578，n_e=1.572，双折射率为0.005～0.007。

澳大利亚西部Menzies祖母绿矿，产有优质的祖母绿。祖母绿含有0.33%的铬，密度为2.71～2.75g/cm³，折射率为n_o=1.581，n_e=1.573，双折射率为0.008。

5. 津巴布韦祖母绿

主要产于津巴布韦桑达瓦纳山谷的Mweza带，晶体一般很小，可切成1～2ct的戒面，颜色很好，很绿，密度为2.744～2.768g/cm³，折射率为n_o=1.590，n_e=1.584，双折射为0.006，典型的内部包体有透闪石，可呈针状或短柱状、细纤维弯曲状（见图3-1-233），还可见褐铁矿等固态包体。一些津巴布韦的祖母绿还具色带，在紫外光下无荧光反应，查尔斯滤色镜下呈弱红色。

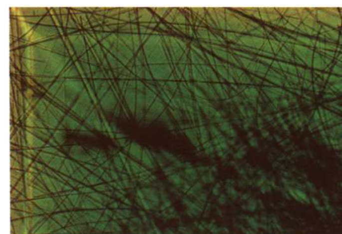


图3-1-233 津巴布韦祖母绿中纤维状透闪石包体

6. 南非祖母绿

最早发现于1927年，主要矿区位于Transvaal。祖母绿晶体呈不规则的六方柱状，长可达50mm或更大些。折射率比其他产地的祖母绿要高，为n_o=1.593，n_e=1.586，双折射率为0.007，密度为2.75g/cm³。内部典型的包体有棕色云母片，在一定程度上云母片会使祖母绿看上去颜色更深些。南非的祖母绿在滤色镜下很少显红色，曾一度被认为是祖母绿的仿制品。

7. 印度祖母绿

印度祖母绿从古代就有很高的知名度，密度一般为2.73～2.74g/cm³，折射率为n_o=1.595，n_e=1.583，双折射率为0.007。内部包体很特征，由两组相互以一定角度分布的特征包体组成，一组是平行Z轴分布的长方形空洞，空洞内存有液体和气泡，在空洞的边角上有一短尾巴，外形像逗号，空洞本身为六方柱状的负晶（见图3-1-234）。另一组为平行底面的黑云母片状包体。这种祖母绿像南非祖母绿一样，在滤色镜下可不显红色。

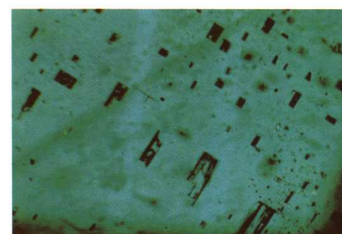
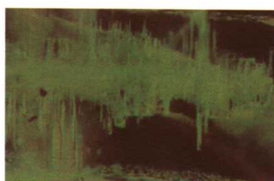
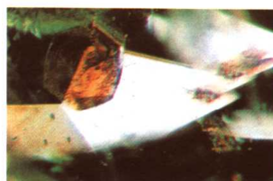


图3-1-234 印度祖母绿中有特征的逗号状负晶或空洞

8. 巴基斯坦祖母绿

最早是在1958年，在Swat山谷发现了祖母绿矿。祖母绿颜色可以是最优质到最一般的颜色，富含铁，所以无荧光；在滤色镜下无反应，密度较高，为2.75～2.78g/cm³；折射率也较高，n_o=1.595～1.600，n_e=1.588～1.593，双折射率为0.008～0.009。巴基斯坦的最优质祖母绿可以其内部全然无瑕，而一般情况下巴基斯坦祖母绿内可含液态包体和矿物包体（见图3-1-235）。少数情况下可见平行Z轴发育，边缘呈锯齿状的三相包体。


图 3-1-235　巴基斯坦祖母绿中的负晶及生长管


图 3-1-236　坦桑尼亚曼亚拉湖祖母绿中的微六边形褐色云母片

9. 坦桑尼亚祖母绿

产于黑云母片岩和伟晶岩中，伟晶岩中的祖母绿与金绿宝石共生。祖母绿的颜色很好，有时带些黄色色调或蓝色色调。优质的祖母绿晶体可达8ct左右。大个的晶体，总是有混浊的雾状包体，常有几种类型的云母片（见图 3-1-236）、磷灰石、正长石、石英，两相或多相的柱状负晶，呈三角或六边形交叉排列，还有部分愈合裂隙。密度为 2.72g/cm³，折射率 n_o=1.586，n_e=1.578，双折射率为 0.006，具典型的 Cr 吸收线。

10. 赞比亚祖母绿

主要产在 Kamakanga 和 Fwaya 等地，其成因与南非和津巴布韦祖母绿相似，有时也产于石英电气石脉中。赞比亚祖母绿与哥伦比亚祖母绿相近，密度范围为 2.74～2.80g/ cm³，折射率为n_o=1.586～1.602，n_e=1.580～1.592，双折射率为0.006～0.01，紫外光下无荧光，在查尔斯滤色镜下呈红色，具很强的Cr吸收谱，内部有黑色的镁电气石、磁铁矿、黑云母—金云母、橙红色的金红石、金绿宝石、赤铁矿、磷灰石、叶蛇纹石等包体（见图 3-1-237）。


图3-1-237　赞比亚祖母绿中的赤铁矿

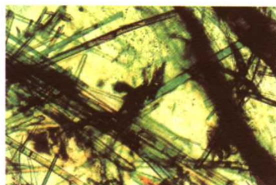
11. 尼日利亚祖母绿

尼日利亚产出的祖母绿呈蓝绿色，该矿的祖母绿与其他颜色的绿柱石、托帕石、烟晶共生，呈中等蓝绿色，w (Cr)≥ 0.08%，w (V)=0.0 6%，w (Fe)=1.2%，平均密度为 2.67g/cm³，折射率为n_o=1.570～1.574，n_e=1.564～1.568，双折射率为0.006，吸收光谱显示铬钒致色的海蓝宝石和祖母绿的混合特征，内部有复杂的生长带；两相充填的部分愈合裂隙、锯齿状的两相空洞，平行于 Z 轴分布。

12. 马达加斯加祖母绿

目前共有两个祖母绿矿区，均产于云母片岩中。祖母绿呈半透明状，密度达2.68～ 2.71g/cm³，折射率为n_o=1.588～1.591，n_e=1.580～1.582，双折射率为0.008～0.009，内部包体有色带，两相或三相、多相，部分愈合裂隙和负晶，棕色的云母片、透闪石—阳起石短柱状或针状包体，还有一些未确定的矿物包体。

13. 奥地利祖母绿


图 3-1-238　奥地利祖母绿中阳起石包体呈茎状

祖母绿晶体产于云母—绿泥石片岩中，其内部特征与俄罗斯祖母绿相似，也有短柱状透闪石（见图 3-1-238）、片状云母包体，包体的棱角呈熔蚀状，圆角状。祖母绿的密度接近于2.73g/cm³,折射率为 n_o=1.591，n_e=1.584，双折射率为 0.007。

14. 挪威祖母绿

祖母绿晶体包裹于花岗岩中，常呈雾蒙蒙的状态。密度为2.68～2.759g/cm³，折射率为 n_o= 1.590，n_e=1.583，双折射率为 0.007。二

色性不明显，查尔斯滤色镜下呈亮红色，内部特征为含有块状、苔藓状包体，还有许多相互连接的空洞，呈水痘状。正是由于这些块状包体，挪威祖母绿才显得雾蒙蒙的，对磨成刻面很有影响，但磨成弧面，仍很漂亮。

表 3-1-23 世界主要产地祖母绿内部特征表

产出国	产地	内部特征
哥伦比亚	契沃尔	三相包体，上下边部呈锯齿状，包含液态、气态和固态的立方体的盐类矿物，具有晶形完好的黄铁矿
	姆佐	同上，黄褐色粒状氟碳钙铈矿，方解石
	鲍雷	大的三相包体
巴西	巴黑额和卡纳巴	二相包体，部分愈合裂隙和空洞，黑云母－绢云母、方解石－白云石、石英、黄铁矿等
	依坦毕拉	部分自形的黄铁矿、点状绿泥石、牛奶状白云石等
俄罗斯	乌拉尔	阳起石呈细丝状或晶簇状、垂直晶体长轴方向裂理发育，呈竹节状
津巴布韦	桑达瓦纳	长而弯曲的针状透闪石、褐色云母片、短柱状或细弯曲状矿物纤维、带黄色晕圈的石榴石、赤铁矿、长石
坦桑尼亚	曼亚拉	由短管或方形空洞组成的两相或三相包体（包括液体、气泡以及盐粒晶体），多种云母、磷灰石、正长石、石英
赞比亚	米柯	镁电气石、磁铁矿、黑云母－金云母、金红石、金绿宝石、赤铁矿、褐铁矿等
尼日利亚		复杂的生长带、两相气液包体、外形呈锯齿状的部分愈合裂隙
南非	柯布拉	典型的棕色云母片、弯曲的辉钼矿晶体
马达加斯加		色带、两相或三相负晶、愈合裂隙、棕色云母片、透闪石－阳起石短柱状或针状包体
印度	卡里古门	逗号状负晶或空洞、黑云母片状包体
巴基斯坦	东部	液体和矿物包体
阿富汗		多相包体、液态包体、铁质氧化物包体
奥地利	哈巴克托	短柱状透闪石、片状云母，呈熔蚀状
挪威	爱德斯法	苔藓状块状包体，许多互连的空洞呈水痘状
中国	云南	三相包体、白色管状包体、色带、黑色电气石、云母片、黄铁矿
	新疆	指纹状包体，二相三相包体（部分呈现锯齿状外观，和哥伦比亚祖母绿相似），平行Z轴方向发育的生长纹（需垂直光轴方向观察）看起来像百叶窗
加拿大		微小的黑色铬铁矿晶体，黄铁矿晶体和近于无色的碳酸盐类晶体，二相或三相包体，平行于光轴观察可以看到不完全的六边形色带

15. 中国祖母绿

主要产于云南和新疆。

云南祖母绿颜色呈中等绿色，稍带些黄，少部分为浅绿色，个别偏蓝绿色。常见裂隙发育，有的裂隙被铁质浸染。内部常见有白色管状包体，呈密集状平行排列；色带一般中间为浅绿色，外层为中等绿色，生长纹较明显；还有气液两相包体以及黑色电气石、云母、黄铁矿等矿物包体。偶见三相包体，石英与长石的连生体等。密度为2.71g/cm^{3}左右，折射率 n_o=1.588，n_e=1.582，双折射率为0.006，在滤色镜下呈微红或无反应，无紫外荧光。

新疆祖母绿颜色为蓝绿色，并呈中等黄绿、蓝绿色多色性。透明，折射率n_o=1.588～1.589，n_e=1.580～1.581，双折射率为0.007～0.008，密度为2.69～2.74 g/cm³。查尔斯滤色镜下呈弱红色，长短波紫外光下均显惰性。放大观察可见指纹状包体、裂隙、二相或三相包体（部分呈现锯齿状外观，和哥伦比亚祖母绿相似），平行Z轴方向发育的生长纹。

16. 加拿大祖母绿

最早发现于1998年，主要矿区位于Regal Ridge。那里产出的品质最好的祖母绿呈饱和度很高的蓝绿色，并且有很高的净度。折射率为n_o=1.587～1.591，n_e=1.579～1.584，双折射率为0.007～0.008，密度为2.70～2.76 g/cm³，在紫外光下呈惰性。内部有微小的黑色铬铁矿晶体、黄铁矿晶体、近于无色的碳酸盐类晶体，二相或三相包体，平行于光轴观察可以看到不完全的六边形色带。

四、祖母绿与相似宝石的鉴别

与祖母绿相似的宝石常见有铬透辉石、翠榴石、铬钒钙铝榴石，绿色碧玺、绿色萤石、磷灰石及翡翠等。祖母绿与这些宝石的区别主要依据折射率、密度、光性特征及内部特征等方面的性质。人工宝石中与祖母绿相似的有绿色玻璃、人造钇铝榴石、合成尖晶石等（见表3-1-24）。

表3-1-24 祖母绿与相似宝石鉴别特征表

宝石名称	H_M	$\frac{\rho}{g\cdot cm^{-3}}$	偏光性	n	双折射率	查尔斯滤色镜反应	其他特征
祖母绿	7.5～8	2.72 ±	非均质体	1.577～1.583	0.005～0.009	红或绿	包体多，含三相包体等
铬透辉石	5.5～6	3.29 ±	非均质体	1.675～1.701	0.026	绿	重影，505nm吸收线普遍
铬钒钙铝榴石	7～7.5	3.61 ±	均质体	1.740 ±	0	红、粉红	光泽强，反火好，含黑色固态包体
翠榴石	6.5～7	3.84 ±	均质体	1.888	0	绿	强色散，含马尾丝状石棉包体
碧玺	7～8	3.06 ±	非均质体	1.624～1.644	0.020	绿	具双影，二色性明显
磷灰石	5～5.5	3.18 ±	非均质体	1.634～1.638	0.004	绿	油脂光泽，假二轴晶干涉图
萤石	4	3.18 ±	均质体	1.434	0	绿	解理，强淡蓝色荧光
翡翠	6.5～7	3.34 ±	集合体	1.66		绿	纤维交织结构，翠性
人造钇铝榴石	8	4.50～4.60	均质体	1.833	0	红	内部洁净，偶含气泡
玻璃	5～6	2.30～4.50	均质体	1.470～1.700	0	红	内部洁净，偶含气泡，铸模标志
合成尖晶石	8	3.64 ±	均质体	1.728	0	红或绿	内部洁净，偶见弧形生长纹、气泡

1. 铬透辉石

常呈深绿色至黄绿色，在滤色镜下呈红色反应，特别是乌拉尔山脉产出的铬透辉石，在市场上很容易被当作祖母绿销售。祖母绿与铬透辉石的区别主要在于颜色、折射率等。两者的颜色均可为深绿色至黄绿色，但铬透辉石的颜色没有祖母绿那种柔和的绿绒绒的感觉，稍有些发暗。其折射率高于祖母绿，分别为1.675～1.701，双折射率为0.024～0.030，密度为3.29g/cm³，其可见光吸收光谱在红区也具铬吸收，但在505nm处具吸收线。铬透

辉石的内部也可有气液包体、管状包体，但很少像祖母绿内部常见有那么多三相或两相的包体。

2. 铬钒钙铝榴石

铬钒钙铝榴石在颜色上呈黄绿色至亮绿色，表面光泽强于祖母绿。铬钒钙铝榴石与祖母绿一样在滤色镜下呈红色或粉红色，在红区具铬吸收谱。祖母绿与铬钒钙铝榴石的区别主要在光性特征、多色性、折射率、密度等方面。铬钒钙铝榴石为均质体，无多色性，其折射率高达1.740 ±。密度高于祖母绿，为3.61 ± g/cm^3，而且内部无祖母绿中常出现的三相或两相包体，铬钒钙铝榴石中常见的是固体包体或负晶。

3. 翠榴石

呈绿色至暗绿色，其特征基本与铬钒钙铝榴石相近，为均质体，无多色性，折射率高达1.888，密度为3.84g/cm^3，内部常见有马尾状石棉矿物特征包体。

4. 绿色碧玺

蓝绿色至暗绿色，色调偏暗。其折射率、双折射率和密度均高于祖母绿，分别为折射率1.62～1.64，密度3.06 (+ 0.02， − 0.06) g/cm^3，双射率高达0.020，在合适的方向可见后刻面棱线重影，多色性强，内部常发育有线状分布的气液包体。

5. 绿色萤石

绿色萤石常带有一种蓝色色调，与蓝绿色的祖母绿很相像，但表面光泽弱得多，因为萤石的折射率只有1.434，而且萤石为均质体，无多色性，内部常因四组解理发育而呈现一种异常消光。色带发育，也同样具有二相或三相气液包体，但气液包体的边界不如祖母绿中的清晰。密度比祖母绿的高，为3.18 (+ 0.07， − 0.18) g/cm^3，萤石在紫外光下常具强荧光反应，有的甚至有磷光。

6. 绿色磷灰石

磷灰石与祖母绿一样属于六方晶系。摩氏硬度为5，低于祖母绿，但折射率、密度均高于祖母绿，分别为1.634～1.638和3.18 ± g/cm^3。可见580nm吸收双线。

7. 翡翠

半透明和近于透明的弧面型翡翠与弧面型祖母绿很相似。通过放大观察可以区别两者，因为祖母绿为单晶体，内部发育的是气液包体、原生或次生裂隙，而翡翠为多晶集合体，常表现为纤维交织结构，在抛光面上能观察到晶体的界线，或由于晶体方向不同而在抛光时留下的微弱的凹凸痕迹。而且翡翠折射率比祖母绿的高，为1.66左右，弧面型祖母绿点测法一般所得值为1.58。翡翠密度高于祖母绿，为3.34 ± g/cm^{3}左右。翡翠的吸收光谱在红区有3条间隔均匀的吸收线，690nm， 660nm，630nm吸收线，在蓝区有437nm的吸收线，与祖母绿的不同。

8. 玻璃

绿色玻璃与祖母绿最为相似，无论从颜色，外观上，均可达到乱真的程度。玻璃中的气泡或其他一些残余物质，可以营造出一种类似裂隙或指纹状包体的外观。但玻璃缺少祖母绿那种绿绒绒的感觉，但一些黄绿色或蓝绿色的祖母绿，色泽较浅时，绿绒绒的感觉欠强，不容易与玻璃区别。鉴定时应特别谨慎。

首先，玻璃为均质体，祖母绿为非均质体。用偏光镜、二色镜或折射仪可直接区别。在偏光镜时下玻璃常具异常消光，无二色性。玻璃的折射率范围较宽，可从1.47～1.70，甚至更高，与祖母绿有明显区别。

9. 人造钇铝榴石

人造钇铝榴石为均质体，其区别也与玻璃的步骤相似。只是人造钇铝榴石的折射率较大，一般大于1.81，一般折射仪测不出。人造钇铝榴石的内部一般洁净，偶有气泡。吸收光谱与祖母绿的不同，在肉眼感觉上人造钇铝榴石有红色的闪光，而没有祖母绿绿绒绒的柔和感。

10. 合成尖晶石

焰熔法合成尖晶石为均质体，折射率为1.728左右，而且偏光镜下常显示斑纹状消光。内部可有气泡、弧形生长纹等。

11. 拼合宝石

祖母绿拼合宝石的形式很多，可有二层或三层拼合。最常见的有：祖母绿加绿柱石、祖母绿或绿柱石加绿色玻璃、红色石榴石加绿色玻璃、无色水晶加一层绿色材料加无色水晶等。顶部一般采用祖母绿或绿柱石，下衬有各种不同的绿色材料如玻璃、合成祖母绿、色浅的绿柱石等，中间可采用无色或绿色的胶粘接。详细鉴定特征见拼合宝石一节。

五、合成祖母绿及其鉴别

（一）合成祖母绿的特征及与天然祖母绿的主要区别

合成祖母绿主要有两种方法，即助熔剂法和水热法。其折射率、密度等物理特征与天然祖母绿很接近。鉴定的主要依据是内部特征及红外光谱特征。

1. 内部特征

助熔剂法合成祖母绿的内部包体很像天然的祖母绿，助熔剂残余常沿裂隙充填，呈云翳状或花边状，像飘曳的窗纱（见图3-1-239）；助熔剂残余还可沿晶体生长面呈近于平行的带状分布。在高倍放大观察可见这些云翳状、带状图案由细小的助熔剂小滴或孔洞聚集而成（见图3-1-239）。也可见无色透明、形态完整的硅铍石晶体。常见色带，色带可呈平直状或交叉成六边形状。

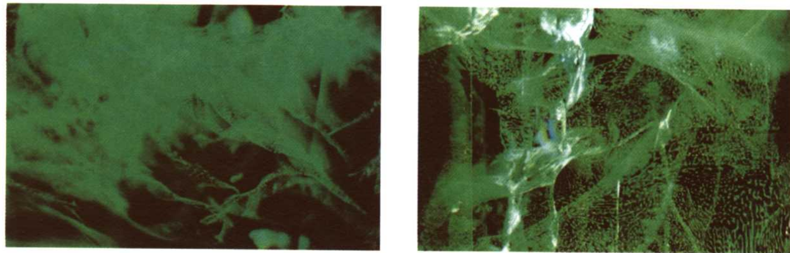
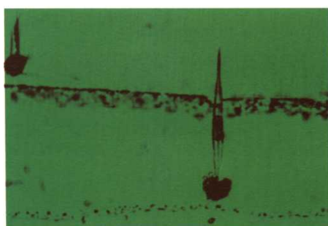


图3-1-239 这些面纱状丝缕状的包体是合成的鉴定依据

水热法合成祖母绿的内部常有两相包体，由硅铍石晶体和孔洞组成钉状包体（见图3-1-240），可出现铂金属片，呈六边形或三角形，在反射光中具银白色外观（见图3-1-241）。有些水热法合成祖母绿制品内保留了种晶片，种晶片周围有云雾状的两相包体分布。水热法合成祖母绿内部的波状或锯齿状生长纹和色带，大多平行于种晶板，与Z轴的交角在22°～40°之间，而且具不规则的亚颗粒边界，近垂直于色带，形成角状图案（图3-1-242），这是天然祖母绿中所没有的。不同厂家水热法合成祖母绿的生长纹与Z轴的交角稍有不同。


图 3-1-240 合成祖母绿中的硅铍石微晶及纺锤形二相包体

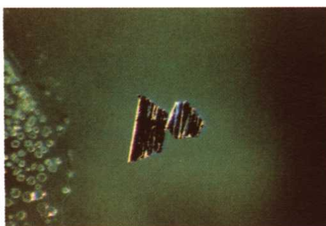

图 3-1-241 合成祖母绿中的铂金属片


图 3-1-242 水热法合成祖母绿中的波状生长纹

2. 密度及折射率

合成祖母绿的密度比天然祖母绿较低些，为2.65g/cm³。折射率也稍有不同，合成祖母绿稍低些，常为1.560～1.563，双折射率最低的仅0.003。

3. 镜下现象

查尔斯滤色镜下合成祖母绿一般呈强红色，但吉尔森N型助熔剂法合成祖母绿在滤色镜下无反应。

4. 发光性

在紫外线下呈红色荧光，而且在短波下查塔姆合成祖母绿的透过率比任何天然祖母绿都强得多。天然祖母绿在小于295nm时就不能透过，而合成祖母绿在低于230nm时仍能完全透过。最可靠的方法是做曝光试验，将样品浸于水中，在暗室内用短波紫外光照射，拍摄慢镜头照片，天然和合成祖母绿曝光程度明显不同。

5. 吸收光谱

合成祖母绿的吸收光谱与天然祖母绿的吸收光谱相同，也有明显的Cr吸收谱。但有些助熔剂法合成祖母绿中另添加了铁（如吉尔森N型合成祖母绿），在紫区具427nm处吸收带，而天然祖母绿中无此吸收带，427nm吸收带的出现可作为合成祖母绿的证据。

6. 红外光谱测试

红外光谱是天然和合成祖母绿之间一种快速无损的鉴定方法，不同来源的祖母绿，对红外光的吸收不同，而且同一粒祖母绿的两个不同方向，吸收强度不同。天然和水热法合成祖母绿都含有水，而助熔剂法合成祖母绿无水，根据红外光谱中有无水的吸收，就不难将助熔剂法合成祖母绿区分出来。水热法合成祖母绿和天然祖母绿均含水，但所含水的类型有所不同。所含水的类型根据其与 $[Si_6O_{18}]^{12-}$ 离子团的结合方式分为I型水和II型水（见图3-1-243）。研究表

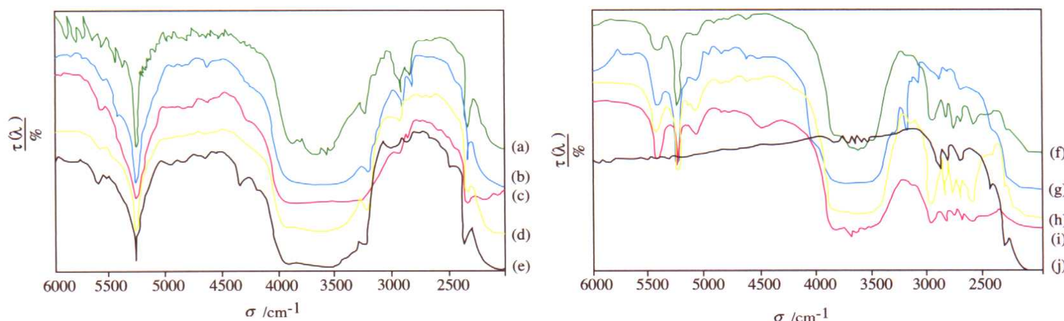


图 3-1-243 天然祖母绿及合成祖母绿中水的红外吸收光谱

(a) 哥伦比亚祖母绿；(b) 云南祖母绿；(c) 马达加斯加祖母绿；(d) 巴西祖母绿；(e) 印度祖母绿；(f) "金伯利" 水热法合成祖母绿；(g) 俄罗斯水热法合成祖母绿；(h) 林德水热法合成祖母绿；(i) 桂林水热法合成祖母绿；(j) 查塔姆助熔剂法合成祖母绿

明天然祖母绿同时含有Ⅰ型水和Ⅱ型水，低碱天然祖母绿和高碱祖母绿的含水情况有所不同。水热法合成的祖母绿也可含Ⅰ型和Ⅱ型水，但水分子的伸缩振动和合频振动的峰位和强弱不同。水热法合成祖母绿在中红外4357cm^{-1}、4052cm^{-1}、3490cm^{-1}、2995cm^{-1}、2830cm^{-1}、2745cm^{-1}处有吸收，可与天然祖母绿区别开（见表3-1-25）。

表3-1-25 天然祖母绿和助熔剂法、水热法合成祖母绿的区别

性质＼种类	助熔剂法合成祖母绿	水热法合成祖母绿	天然祖母绿
ρ/g . cm^{-3}	2.65～2.67	2.67～2.69	2.69～2.74
n_e	1.560～1.563	1.566～1.576	1.565～1.586
n_o	1.563～1.566	1.571～1.578	1.570～1.593
双折射率	0.003～0.005	0.005～0.006	0.005～0.009
内部特征	硅铍石、铂片、弯曲的脉状裂隙、两相包体	硅铍石、细小的两相包体	云母、透闪石、阳起石、黄铁矿、方解石、三相包体
水	无	含Ⅰ型和Ⅱ型水	含Ⅰ型和Ⅱ型水
钾	可变	无	可变
红外光谱	无水吸收峰		

（据 Kurt Nassan，1979）

（二）合成祖母绿主要品种介绍

合成祖母绿有众多的生产厂商，如查塔姆（Chatham）、吉尔森（Gilson）、林德（Linde）等，在贸易中常以各自的厂商为品名出现，详见表3-1-26。不同厂商的合成祖母绿，其特点稍有不同。

1. 助熔剂法合成祖母绿

（1）查塔姆合成祖母绿

查塔姆合成祖母绿密度在2.65g/cm^3，折射率在1.563～1.560，双折射率为0.007，其内部可有羽状、面纱状包体及硅铍石晶体，在紫外光下具鲜红色荧光，在滤色镜下也呈鲜艳的红色，其化学成分中可有Li、Mo、V等元素出现，可证实其助熔剂是钒钼酸锂。在红外光谱中，无水的振动吸收。

（2）吉尔森合成祖母绿

吉尔森合成祖母绿的密度和折射率范围与查塔姆的相近。羽状包体也很相似。不同的是紫外光下不呈红色而呈橙色。最近的产品中可以显红色荧光。吉尔森法合成祖母绿可大至18ct。吉尔森用助熔剂法还试制出一种含有Cr和Ni的合成祖母绿，颜色呈黄绿色。折射率为1.563～1.559，密度2.65g/cm^3，Cr，Ni为主要致色元素，还有少量的V，Fe和Cu，由Cr^{3+}，Ni^{2+}，Ni^{3+}产生的吸收光谱，这与俄罗斯含Cr和Ni的水热法合成祖母绿不同。

（3）莱尼克斯（Lennix）合成祖母绿

莱尼克斯合成祖母绿是用钼酸锂和硼盐为助熔剂，折射率较低，为1.556～1.562和1.558～1.566，双折射率为0.003，深绿色的品种折射率稍高些。密度为2.65～2.66g/cm^3。对紫外荧光，长波下呈亮红色，短波下呈模糊的橙红色。莱尼克斯法合成祖母绿比其他合成祖

母绿都富含FeO和MgO，在阴极射线下发紫色至蓝紫色的光，这一点可作为莱尼克斯合成祖母绿的特征。其内部有不透明管状包体近于平行Z轴，有沿平行底面密集生长带分布的放射状包体，硅铍石和绿柱石细柱状晶体，助熔剂充填的次生裂隙。沿底面边还可有平行Z轴分布的两相包体，有时具三相包体，很像哥伦比亚天然祖母绿。

（4）俄罗斯 Novosibirsk 助熔剂法合成祖母绿

这些合成祖母绿长可达100mm，直径可达60mm，密度和折射率比一般助熔剂合成祖母绿的低，但内部有类似次生愈合裂隙和原生空洞充填的助熔剂包体。

2. 水热法合成祖母绿

（1）俄罗斯水热法合成祖母绿

在无贵金属加入的钢质炉中生长，用无色绿柱石作种晶，该种合成祖母绿富Cr，Fe，Ni和Cu，折射率范围为1.580～1.586至1.573～1.579，双折射率为0.006～0.007，密度为2.68～2.70g/cm^3，具阶梯状生长纹和色带，具角状图案（见图3-1-244）。

1993年出现一个新型的俄罗斯水热法合成祖母绿，其种晶平行于{11$\bar{2}$1}面，生长纹与光轴的交角为45°，无明显的生长纹和角状图案。内部含有无数细小的红棕色微粒，密集呈云雾状，无定向，不规则分布。折射率n_e=1.572～1.578，n_o=1.579～1.584，双折射率为0.006～0.007，密度为2.67～2.73g/cm^3。长短波紫外光下均无荧光，查尔斯滤色镜下呈弱红，具652nm（弱）、632nm（强）、606nm（中等）吸收线，603～584nm模糊吸收带，660nm以上全吸收。

（2）林德法合成祖母绿（Linde）

以天然绿柱石为种晶板，折射率为1.572～1.567，双折射为0.005，密度为2.67g/cm^3。林德法合成祖母绿中，羽状包体比其他的合成祖母绿更为常见，还可有单一由硅铍石或一组硅铍石晶体组成的尾巴状包体，最明显的特征是在强白光下呈强红色，在查尔斯滤色镜、交叉滤色镜、紫外光下呈强的红色荧光。最新的林德水热法合成祖母绿在紫外光下可无荧光。

（3）拜伦法合成祖母绿（Biron）

拜伦法合成祖母绿中含Cr、V、Cl元素。内部特征可见硅铍石晶体、大的两相包体、两相钉状包体（见图3-1-245）、彗星状白点、针状平行结构、助熔剂羽状包体和暗色金属包体等。密度为2.68～2.70g/cm^3，折射率为1.570～1.571和1.577～1.578，双折射率为0.007～0.008。

（4）莱切雷特纳水热法合成祖母绿（Lechleitner）

所有该法的合成祖母绿都出现有平行于台面的层状或次层状现象，层与次层之间分布有色带。层和层之间易分裂，所以一般戒面下部的刻面不抛光。

（5）桂林水热法合成祖母绿

颜色为带蓝色调的绿色或翠绿色。内部特征可见三相钉状包体，有时单个出现，成群出现时似麦苗状（见图3-1-246），包体除硅铍石外，还有金绿宝石和绿柱石包体，也可作为主要鉴别特征之一。折射率为1.570～1.572和1.576～1.578，双折射率为0.006。密度为2.67～



图3-1-244 俄罗斯水热法合成祖母绿中可见锯齿状生长纹

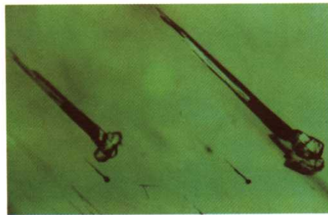


图3-1-245 在澳洲拜伦合成祖母绿中二相、三相钉状包体

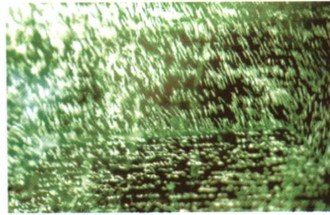


图3-1-246 桂林水热法合成祖母绿中的麦苗状包体

2.69 g/cm³，在查尔斯滤色镜下和紫外光下呈亮红色。

表 3-1-26 不同类型合成祖母绿特征

	品种	n	双折射率	ρ/g·cm^{-3}	紫外荧光	包体	其他特征	生长纹
熔剂法	查塔姆 Chatham(美)	1.560～1.563	0.007	2.65 ±	强红色	羽状、面纱状包体及硅铍石晶体	红外光谱中无 H_2O 的吸收	c(0001) m(1010) u (1120)
熔剂法	吉尔森 I 型 GilsonI 型(法)	1.559～1.569	0.005	2.65 ± 0.01	橙红色	羽状包体、长方形硅铍石晶体	红外光谱中无 H_2O 的吸收	
熔剂法	吉尔森 II 型 Gilson II 型(法)	1.562～1.567	0.003～0.005	2.65 ± 0.01	红色	同上	同上，产品极少见	
熔剂法	吉尔森 N 型 Gilson N 型(法)	1.571～1.579	0.006～0.008	2.68～2.69	无	纱状、束状固态熔剂包体，铂及硅铍石	同上，427nm 处有特征吸收，产品极少见	
熔剂法	莱尼克斯 Lennix(法)	1.556～1.566	0.003	2.65～2.66	红色	不透明管状包体，硅铍石和绿柱石柱状晶体，助熔剂充填的次生裂隙	具浅－暗绿色条带	
水热法	莱切雷特纳 Lechleitner(澳)	1.570～1.605 1.559～1.566	0.005～0.010 0.003～0.004	2.65～2.73	红色	籽晶，交叉裂隙	浸油中可见分层，正交偏光波状消光	生长线与Z轴交角 30°
水热法	林德 Linde(美)	1.567～1.572	0.005	2.67 ±	强红色	气体及羽状二相气液包体，平行钉状或针状包体，硅铍石	红外光谱中有 H_2O 的吸收，含 I 型水	36°～38°
水热法	精炼池法 Refined pool(澳)	1.570～1.575	0.005	2.694	弱—无	云翳状窗纱状包体	红外光谱中有 H_2O 的吸收，含 C1	22°～23°
水热法	中国(桂林)	1.570～1.578	0.006	2.67～2.69	亮红	三相钉状包体，有时单个出现，成群出现时似麦苗状，硅铍石	含 I、II 型水	
水热法	拜伦 Biron(澳)	1.570～1.578	0.007～0.008	2.68～2.70	强红	二相钉状包体、硅铍石晶体，白色彗星状、串珠状微粒、助熔剂羽状包体和暗色金属包体	含 I、II 型水、C1	32°～40°
水热法	俄罗斯 (旧) (新)	1.572～1.578 1.579～1.584	0.006～0.007	2.68～2.70	弱红	无数细小的棕色微粒，呈云雾状	含 I、II 型水 含 I、II 型水	30°～32° 43°～47°

六、祖母绿的优化处理及其鉴别

对祖母绿进行优化处理的历史久远，主要方法有浸注处理、染色处理、覆膜处理。

（一）浸注处理

对祖母绿进行浸注处理由来已久，浸注方法也是多样。早期人们主要用各种油来浸渍祖母绿（如各种植物油、雪松油等），而且尽量采用与祖母绿折射率相近的油，所浸注的油可分为有色和无色两种。近年来又有采用加拿大树脂来浸注的。根据浸注的材料不同浸注处理大致归为3类：即浸无色油处理、浸有色油处理和树脂充填处理。

1. 注无色油处理

注无色油的祖母绿目前已得到国际珠宝界和消费者的认可，而且在市场上很常见。这种方法没有改变祖母绿本身的颜色，还可使祖母绿变得好看些。油的作用主要是掩盖已有的裂隙或孔洞，提高宝石的透明度和亮度。

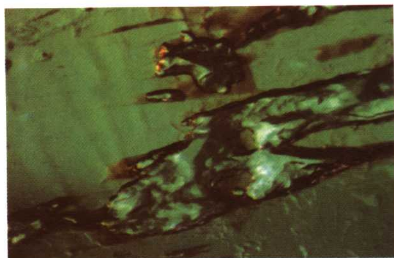


图 3-1-247 在这颗祖母绿中，可见黄褐色油部分围绕不规则形状气泡

对浸无色油祖母绿的检测，主要是放大检查，观察裂隙中是否有油存在的特征，可将祖母绿样品浸于水中或其他无色透明的溶液中进行观察。用反射光，慢慢转动样品，在某一角度上可观察到裂隙中无色油产生的干涉色。如果裂隙未完全充填，观察时可见裂隙中不规则分布的油痕，其反光比一般裂隙中液态包体强（见图 3-1-247）。

其次是观察祖母绿是否有受热后“发汗”流油的情况。用台灯或热针靠近祖母绿样品，样品受热，油会像出汗似的，从裂隙中渗出，用棉纸或镜头纸擦拭可看出是否有油渗出。浸过油的祖母绿在包装纸上会留下油迹，所以细心检查包装纸，也可得出该样品是否经过浸油。

浸油祖母绿在受热和强光照射下会产生挥发而干涸，原先掩盖住的裂隙会重新显露出来，不免会引起商家与顾客之间、生产与销售双方之间的麻烦。所以不管哪一方都应对祖母绿的浸油处理有个正确的认识和正确的使用、保管方法，如避免用超声波清洗器或强清洗剂清洗等。

2. 浸有色油的处理

浸有色油与浸无色油的观察方法相同，而且放大检查时可见绿色油呈现丝状沿裂隙分布；油干涸后会在裂隙处留下绿色染料；受热渗出的油和包装纸上的油迹呈绿色。某些有色油在紫外光下具荧光。

3. 树脂类充填处理

树脂充填处理的观察方法与上述两者相同，也同样具有一种干涉效应，但无“发汗”现象。充填物较厚处可能会残留有气泡，有时充填区呈雾状，充填物内有流动结构。用反射光观察，可见祖母绿表面有蛛网状的裂隙充填物，其光泽较周围祖母绿暗。

（二）染色处理

采用化学颜料，将色浅的祖母绿或无色绿柱石染成深绿色，以达到祖母绿的效果。这种染色处理的绿色颜料，沿裂隙分布，可呈蛛网状。可有630～660nm吸收带，在长波紫外光下可呈黄绿色荧光。

（三）覆膜处理

1. 底衬处理

为加深祖母绿的颜色，在祖母绿戒面底部，衬上一层绿色的薄膜或绿色的锡铂，用闷镶的形式镶嵌。检测时不易觉察，放大检查其底部近表面处可有接合缝，接合缝处可有气泡残

留，有时会有薄膜脱落，起皱等现象。二色性不明显或根本就没有二色性，不像天然祖母绿有明显的二色性；而且天然祖母绿具明显的Cr吸收谱，该种处理的祖母绿只有模糊或无Cr吸收光谱。

2. 镀膜处理

常采用天然无色绿柱石作核心，在外层生长合成祖母绿薄膜。所以有人称其为再生祖母绿。用无色绿柱石作内核，可以保证样品整体的密度与祖母绿的相近。一般外层合成祖母绿只有0.5mm厚，很容易产生裂纹，呈交织网状，这可以说是镀膜祖母绿的一个特征。观测时，浸泡于水中或其他透明溶液中，可见棱角处的颜色明显集中，在长波紫外光下外层的荧光比宝石本身的荧光强得多。内部包体的特征为无色绿柱石的特征，即有雨丝状、管状包体、气液包体。而不是祖母绿中的典型包体。也有多次覆层的祖母绿，内部用无色绿柱石作种晶，外生长一层合成祖母绿后，又生长一层合成绿柱石。鉴别的关键是浸泡并从侧面观察，可清楚见到多层分布的现象。

七、祖母绿的质量评价

对祖母绿的质量评价一般从颜色、透明度、净度、切工及重量等方面来进行，其中颜色是最为重要的。

1. 祖母绿的颜色

由浅绿色、翠绿色至深绿色。对颜色的评价应看其颜色的色调，绿色的深浅程度，颜色分布的均匀程度，以不带杂色或稍带有黄或蓝色色调，中至深绿色为好。优质祖母绿的价格能与相同质量的优质钻石相媲美。颜色分布不均匀，且颜色较浅的祖母绿，其价格比较低。

2. 透明度及净度

透明度和净度两者是相互影响的。净度可以直接影响透明度，一般内部杂质、裂隙较少的，其净度高；如果内部杂质较多，特别是裂隙较多时，其透明程度将会受到影响。质量好的祖母绿要求内部瑕疵小而少，肉眼基本不见。

3. 祖母绿的切工

祖母绿一般磨成四边形阶梯状，四个角常常被磨去，称为祖母绿型切工。这种切工可将祖母绿较深的绿色很好地体现出来。质量好的祖母绿一般都采用祖母绿型切工。也有切磨成明亮型，及混合型，后者很少采用，而且看似有玻璃状外观。质量差或裂隙较多的祖母绿一般切磨成弧面型或做链珠。祖母绿切磨角度非常重要，台面方向与光轴垂直时，显示黄绿色；台面平行光轴时，则是显示蓝绿色。平行光轴方向切磨有时强于垂直光轴方向的切磨，因为垂直光轴方向的常光总显示一种灰白色色调。

祖母绿的重量一般大小在0.2～0.3ct，目前世界上最大的祖母绿晶体重达16020ct，产自哥伦比亚姆佐矿。大英自然博物馆藏有一颗长51cm，重1384ct颜色非常美丽的祖母绿。

八、祖母绿的产状、产地简介

内生祖母绿矿床有3种工业类型：伟晶岩型、超基性岩中云英岩型以及产在沉积岩中的方解石—钠长石脉型。

1. 伟晶岩型

祖母绿产于微斜长石伟晶岩晶洞中，以浅色、浑浊晶体为主，优质晶体不多，工业意义不大，主要代表矿床是美国的北卡罗来纳州祖母绿矿及挪威奥斯陆以北的祖母绿矿。

2. 超基性岩中云英岩型

这一类型矿床具有重要的工业意义，是祖母绿宝石的主要来源之一。该类型矿床地质构造环境类似，都是花岗伟晶岩侵入变质的超基性岩中，含祖母绿的云母岩经常与稀有金属伟晶矿床共生。俄罗斯、印度、津巴布韦、南非、澳大利亚、巴西等国的祖母绿矿均为该类型。

3. 产于沉积岩系中的方解石—钠长石脉型

这一类型祖母绿矿床主要分布于哥伦比亚，祖母绿矿化的围岩是白垩纪碳质岩和灰岩，含祖母绿矿体是穿插在炭质岩、灰岩中的方解石脉、白云石—方解石脉，黄铁矿—钠长石脉。

第四节　金绿宝石

金绿宝石因其独特的黄绿至金绿色外观而得名，以其特殊的光学效应而闻名。金绿宝石根据其特殊光学效应的有无可分为金绿宝石、猫眼、变石和变石猫眼等品种，其中最为有名的当属金绿宝石猫眼。猫眼以其丝绢状的光泽、锐利的眼线而深受人们的喜爱。在亚洲，猫眼宝石常被当作好运气的象征，人们相信它会保护主人的健康，免于贫困。变石更是被誉为“白昼里的祖母绿，黑夜里的红宝石”。在西方金绿宝石是赫赫有名的五大宝石之一。

一、金绿宝石的基本性质

（一）矿物名称

金绿宝石（Chrysoberyl），矿物学中属金绿宝石族。

（二）化学成分

金绿宝石矿物为铍铝氧化物，分子式为$BeAl_2O_4$，实际上金绿宝石矿物中常含有微量 Fe、Cr、Ti 等组分。不同的微量元素使金绿宝石矿物产生不同的颜色。

（三）晶系与结晶习性

金绿宝石矿物属斜方晶系，原生矿物晶体常呈板状、短柱状晶形。晶面常见平行条纹，晶体常形成假六方的三连晶穿插双晶（见图 3-1-248，图 3-1-249）。

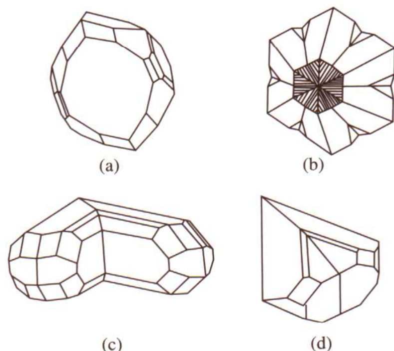


图 3-1-248　金绿宝石常见晶形
（a）单晶；（b）轮式双晶；（c）、（d）膝状双晶



图 3-1-249　金绿宝石的轮式双晶

（四）光学性质

1. 颜色

金绿宝石通常为浅—中等的黄色至黄绿色、灰绿色、褐色至黄褐色以及很罕见的浅蓝色（见图3-1-250）；猫眼主要为黄色—黄绿色、灰绿色、褐色—褐黄色；变石通常在日光下为带有黄色色调、褐色色调、灰色色调或蓝色色调的绿色（例如：黄绿、褐绿、灰绿、蓝绿），而在白炽灯光下则呈现橙色或褐红色—紫红色；变石猫眼呈现出蓝绿色和紫褐色。

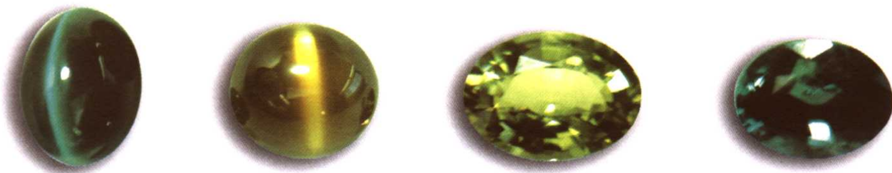


图3-1-250 金绿宝石

2. 光泽和透明度

金绿宝石的光泽通常为玻璃光泽至亚金刚光泽，透明度通常为透明—不透明；猫眼的光泽多为玻璃光泽，呈亚透明—半透明；变石抛光面光泽为玻璃光泽至亚金刚光泽，断口呈现玻璃—油脂光泽，而透明度通常为透明。

3. 光性

金绿宝石矿物为光性非均质体，二轴晶，正光性。

4. 折射率和双折射率

金绿宝石的折射率为1.746～1.755(＋0.004，－0.006)，双折射率为0.008～0.010。例外情况曾发现一个褐色金绿宝石晶体具有相当高的折射率值：n_g=1.770、n_p=1.764、n_m=1.759，而其密度为3.755g/cm^3。

5. 多色性

金绿宝石的多色性为三色性，呈弱至中等的黄、绿和褐色。浅绿黄色金绿宝石多色性较弱，而褐色金绿宝石多色性略强。猫眼的多色性较弱，呈现黄—黄绿—橙色。变石的多色性很强，表现为绿色，橙黄色和紫红色。缅甸抹谷产出的一个变石样品具有独特的三色性，表现为n_p方向呈紫红色，n_m方向呈草绿色，n_g方向呈蓝绿色。

6. 发光性

金绿宝石在紫外荧光灯下，长波时无荧光；短波时，黄色和绿黄色宝石一般为无至黄绿色荧光。其中，富铁的黄色、褐色和暗绿色金绿宝石在紫外线和X射线照射下不发荧光。某些浅绿黄色金绿宝石在短波紫外线照射下发出弱的绿色荧光。其他颜色的金绿宝石不发荧光。

猫眼在长短波紫外线下通常无荧光。

变石在长短波紫外线下发无—中等强度的紫红色荧光，在X射线照射下发暗淡的红色荧光，阴极射线下发橙色荧光。使用交叉滤色片法可见变石的红色荧光。

变石猫眼在紫外荧光灯的照射下呈现强度为弱至中的红色荧光。

7. 吸收光谱

金绿宝石的黄色和黄绿色起因于金绿宝石矿物中含有微量Fe^{3+}元素，猫眼的颜色主要也是起因于宝石中含Fe^{3+}元素。因此金绿宝石的和猫眼的吸收光谱具有相似的特点，主要产生

于445nm为中心的强吸收带（见图3-1-251）。

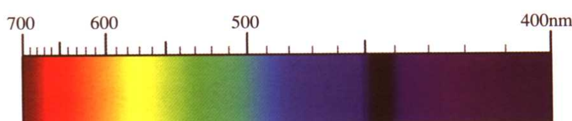


图3-1-251 金绿宝石吸收光谱图

变石的颜色及其变色效应起因于金绿宝石矿物中含有微量Cr元素，在可见光吸收光谱上具有如下特点：680.5nm和678.5nm两条强吸收线，665nm、655nm和645nm三条弱吸收线，580～630nm的部分吸收，476.5nm、473nm及468nm的三条弱吸收线，紫区通常完全吸收。

变石的吸收光谱由于宝石的三色性而随着方向略有变化。变石表现出较强的三色性，因而随方向不同光谱不同，绿色方向（γ或慢光）在680.5nm、678.5nm处可见弱细线。吸收光线的宽吸收带位于640nm至555nm，在低于470nm的蓝、紫区产生吸收（见图3-1-252）。

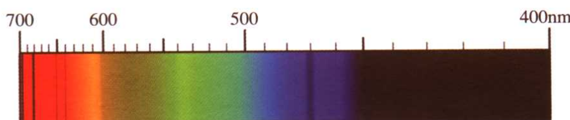


图3-1-252 变石吸收光谱图（绿色方向）

红色或紫红色方向（α或快光）显示弱双线，其中678.5nm线略强，在红光区仅见另外两条线655nm和645nm。宽吸收带位于605nm和540nm之间，在合适的条件下可见蓝区472nm有一细线。紫区在460nm以下全吸收（见图3-1-253）。在日常测试时，如果不采用偏光加以区分的话，看到的仅是混合光谱，与不同方向看到的光谱略有变化。

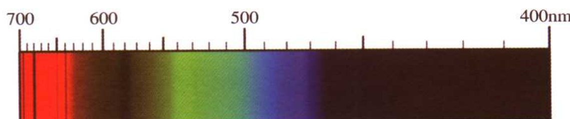


图3-1-253 变石吸收光谱图（红色方向）

8. 特殊光学效应

在金绿宝石矿物中，通常出现猫眼效应和变色效应，而星光效应极少出现。更为珍贵的是在一颗金绿宝石上既可以出现猫眼效应，又可以出现变色效应的变石猫眼。

（五）力学性质

1. 解理

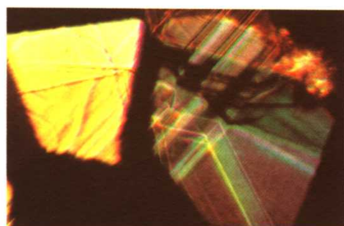
金绿宝石晶体可出现三组不完全解理，变石和猫眼一般无解理，金绿宝石常出现贝壳状断口。

2. 硬度

摩氏硬度一般为8～8.5。

3. 密度

密度变化不大，通常为3.73 (± 0.02) g/cm^3。


图 3-1-254 金绿宝石中阶梯状滑动面或双晶纹

（六）内外部显微特征

金绿宝石内部主要含有指纹状包体，也可见丝状物。金绿宝石中的固体包体包括云母、阳起石、针铁矿、石英和磷灰石，原生和次生两相或三相包体也常见，可能含有水和二氧化碳。透明宝石可见阶梯状滑动面或双晶纹，这些面有时采用侧光照明才可见（见图 3-1-254）。黄色和褐色金绿宝石显示出各种类型的内部特征，最常见的是两相包体、平直的充液空穴和长管。

猫眼内部主要含有大量平行排列的丝状金红石包体或管状包体。

变石内部主要含有指纹状包体及丝状物。原苏联产变石的内部特征常由指纹状和类似于红宝石中的包体组成，变石可含有以上金绿宝石和猫眼所提及的包体。

（七）其他

金绿宝石宝石化学性质稳定，对一般热、光均不发生反应。在酸碱中几乎不溶，仅在硫酸中部分溶解。

二、金绿宝石的品种

金绿宝石根据其特殊光学效应的有无可分为以下品种。

1. 金绿宝石

指没有任何特殊光学效应的金绿宝石（见图 3-1-255）。

2. 猫眼

具有猫眼效应的金绿宝石称之为猫眼（见图 3-1-256）。


图 3-1-255 各种颜色的金绿宝石


图 3-1-256 猫眼原石及成品

在光线照射下，金绿宝石猫眼表面呈现的一条明亮光带，光带随着宝石或光线的转动而移动；另一种有趣的现象是，当把猫眼放在两个光源下，随着宝石的转动，眼线会出现张开与闭合的现象（见图 3-1-257），宛如灵活而明亮的猫的眼睛。目前，只有这种金绿宝石的猫眼无须注明矿物种而直称“猫眼”。能产生猫眼效应的其他一些宝石，包括石英、电气石、绿柱石及磷灰石等，不能将这些宝石直称为“猫眼”，应称为“石英猫眼”、“电气石猫眼”等。


图 3-1-257 猫眼的开合现象

猫眼在有许多俗称，如东方猫眼、锡兰猫眼，也有称之为猫睛、猫精、金绿玉或波光石的。为了区别于其他具有猫眼效应的宝石，民间还将猫眼效应最为完美的金绿宝石磨制的猫眼叫做“真猫眼石”。

猫眼之所以产生猫眼效应，主要由于金绿宝石矿物内部存在的大量细小、密集，平行排列的丝状金红石或管状包体，丝状物的排列方向平行于金绿宝石矿物晶体Z轴方向。由于金绿宝石本身与金红石包体在折射率上的较大差别，使入射到宝石内的光线经金红石包体反射出来，经特别定向切磨后，反射光集中成一条光带而形成猫眼现象。金绿宝石中丝状物含量越高，宝石越不透明，猫眼效应越明显，反之，金绿宝石越透明，猫眼效应越不明显。

猫眼可呈现多种颜色，如蜜黄、黄绿、褐绿、黄褐、褐色等。猫眼宝石在聚光光源下，宝石的向光一半呈现其体色，而另一半则呈现乳白色（见图3-1-258）。



图3-1-258 猫眼

3. 变石

具有变色效应的金绿宝石称之为变石。变石在商业界称为亚历山大石，变石在日光或日光灯下呈现为绿色色调为主的颜色，而在白炽灯光下或烛光下则呈现出红色色调为主的颜色，因此被誉为“白昼里的祖母绿，黑夜里的红宝石”（见图3-1-259）。据传说，在1830年，俄国沙皇亚历山大二世，在他生日的那天，发现了变石，故将这块宝石命名为亚历山大石，变石的英文Alexandrite即出于此。著名的产地是俄罗斯乌拉尔山脉。



图3-1-259 日光灯下呈绿色（左）；白炽灯下呈红色（右）

4. 变石猫眼

变石猫眼是同时具有变色效应及猫眼效应的金绿宝石（见图3-1-260）。变石猫眼既含有产生变色效应的铬元素，又含有大量丝状包体以产生猫眼效应。变石猫眼是一种更珍贵、更稀罕的宝石品种。

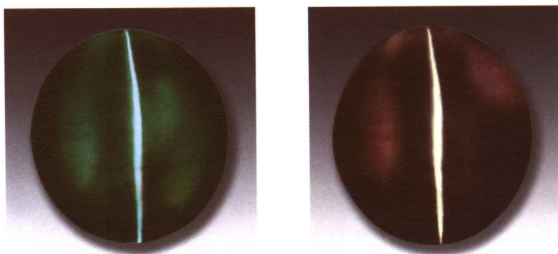


图3-1-260 变石猫眼

5. 星光金绿宝石

具星光效应的金绿宝石称为星光金绿宝石。星光金绿宝石通常为四射星光，其星光产生的原因之一是在金绿宝石中同时存在两组互相近于垂直排列的包体，其中一组为金红石丝状包体，而另一组为细密的气液管状包体。这种星光金绿宝石的存在同时证明金绿宝石猫眼效应的形成有两种原因，即猫眼效应既可由金红石包体形成，也可由气液包体形成。

三、金绿宝石与相似宝石及其仿宝石的鉴别

（一）金绿宝石

与金绿宝石相近的宝石有蓝宝石（各种颜色）、钙铝榴石、尖晶石、橄榄石等。

1. 与蓝宝石的鉴别

（1）同金绿宝石相比，蓝宝石具有更高的折射率值。金绿宝石折射率为1.74～1.75，而蓝宝石折射率为1.76～1.77左右。

（2）蓝宝石为一轴晶负光性晶体，而金绿宝石为二轴晶正光性晶体。因此使用正交偏光镜观察宝石的干涉图，可发现蓝宝石具有典型的一轴晶黑十字干涉图，而金绿宝石不具此特征。

（3）使用分光镜来区分金绿宝石与蓝宝石不是最好的方法，因为金绿宝石在蓝光区445nm的吸收线与蓝宝石450nm的吸收线过于接近，不容易区分。

（4）通过放大镜或显微镜观察宝石内部的包体也可以作为鉴定特征。金绿宝石最常见的包体为指纹状包体、丝状包体。虽然蓝宝石也具有同样的包体，但蓝宝石常见六边形生长色带，丝状包体可以三个方向呈120°交角出现。

金绿宝石经常可见阶梯状滑动面或双晶纹，而蓝宝石中则几乎不可见。

2. 与钙铝榴石的鉴别

钙铝榴石的折射率与金绿宝石最为接近，为1.74左右，同时钙铝榴石的颜色与金绿宝石也很接近，所以二者在外观上非常相像。钙铝榴石同金绿宝石的最大差别在于钙铝榴石为单折射宝石，因此与双折射有关的刻面重影、多色性等现象，在钙铝榴石中无法见到。

3. 与尖晶石的鉴别

尖晶石在外观上可能相似于金绿宝石，尤其是那些黄色、黄绿色、浅绿色的尖晶石更为相像。尖晶石属单折射宝石，而且尖晶石的折射率为1.72左右，低于金绿宝石。尖晶石中可出现八面体负晶及由八面体负晶组成的指纹状包体。

4. 与橄榄石的鉴别

黄绿色的橄榄石与金绿宝石的颜色比较接近。但是橄榄石的折射率1.654～1.690低于黄绿色金绿宝石1.746～1.755的折射率值。橄榄石中常含有特征的“睡莲叶”状包体，以及明显的后刻面棱重影现象，易于与金绿宝石区别。

（二）猫眼

天然宝石当中，许多宝石由于其内在的性质，经特殊切磨后可产生猫眼效应，如石英猫眼、阳起石猫眼、磷灰石猫眼、透辉石猫眼、海蓝宝石猫眼、方柱石猫眼、碧玺猫眼、长石猫眼、玻璃猫眼及其他一些罕见的具有猫眼效应的宝石。

1. 与石英猫眼的鉴别

在外观上与猫眼最为接近的宝石为石英猫眼，石英猫眼在我国传统上俗称勒子石。常见的颜色有黄色、褐黄、黄绿、灰、灰褐、灰绿等。一般的石英猫眼质地较粗，眼线的线状反光也不甚明亮，光线的边界也不清晰，但也有质地细腻者，其光线界线也相当明亮且清晰。

石英猫眼作为石英矿物，其折射率、密度等远远低于金绿宝石，折射率点测法一般为1.54，而金绿宝石为1.74。因此，使用折射仪可以很容易将猫眼与石英猫眼区分开。二者的

密度差别也很大，猫眼的密度一般为3.73g/cm³，而石英猫眼仅为2.65g/cm³左右。使用分光镜观察吸收光谱也可将二者区分开。猫眼在蓝区可见445nm处的吸收带，而石英猫眼不存在特征吸收光谱。

2. 与阳起石猫眼的鉴别

在外观上与猫眼较为接近的宝石为阳起石猫眼。阳起石猫眼主要呈半透明，浅至深的绿色、黄绿色以及黑色。猫眼效应是由阳起石的纤维矿物集合体所致。阳起石猫眼也可表现出光带两侧颜色的差异，但由其点测法1.63的折射率及3.00g/cm³左右的密度可与猫眼区分开。

3. 与磷灰石猫眼的鉴别

磷灰石猫眼同猫眼相比，同样具有较低的折射率和密度，具有猫眼效应的磷灰石可由其吸收光谱580nm的双吸收线鉴定出。

4. 与透辉石猫眼的鉴别

透辉石猫眼往往表现为不透明的深绿色至黑色，有时带有褐色色调。透辉石猫眼所表现的光带常较清晰，光带两侧颜色差别不大。透辉石猫眼点测法折射率为1.68，密度3.29g/cm³左右，可由此区别于猫眼。

5. 与其他具猫眼效应宝石的鉴别

海蓝宝石猫眼、碧玺猫眼和方柱石猫眼的共同特点是，猫眼效应产生于宝石内部一组平行排列的管状气液包体，外观上可见较粗的纤维状包体，而且具有猫眼效应的这些宝石的颜色也往往区别于猫眼，很易于鉴别。长石猫眼的颜色通常为无色，而且透明度较高。

6. 与玻璃猫眼的鉴别

玻璃猫眼常用来仿猫眼，玻璃猫眼是通过加热并吹拉成束的细玻璃丝加工成弧面型宝石后，就产生了猫眼效应。根据需要，玻璃可配制成各种颜色。另一种重要的工艺是熔化玻璃纤维。玻璃纤维的切面呈方形或六边形，每平方厘米包含有15万根纤维。这种玻璃猫眼表现的猫眼效应过于完美，以至于有虚假的感觉；它的折射率及密度都非常低，在宝石侧面垂直光带的方向，使用放大镜即可观察到蜂窝状纤维结构，因此易于鉴别。

（三）变石

变石以其本身独特的光学效应及其物理化学性质区分于大多数天然宝石。在鉴定变石时要考虑以下具有变石效应的宝石：变色石榴石、变色尖晶石、变色蓝宝石、变色萤石、变色蓝晶石。同时具有假变色效应的红柱石也与变石易混。

1. 与石榴石的鉴别

石榴石中包含许多宝石品种，具有变色效应的石榴石是含微量V和Cr元素的镁铝榴石及镁铝榴石－锰铝榴石的系列的石榴石。富含V和Cr的镁铝榴石变色效应表现为在日光下呈现蓝绿色而在白炽灯下呈现酒红色或带有红色调的紫色。

变石同变色石榴石的鉴定与金绿宝石同钙铝榴石的鉴定相似，因为石榴石属等轴晶系，单折射宝石，而变石属斜方晶系双折射宝石，因此通过测定变色石榴石的折射率和多色性可将二者区分开。

2. 与变色蓝宝石的鉴别

天然产出的变色蓝宝石当其化学成分中的Cr含量很低时，一般变色效应很弱，在日光下表现为一种灰蓝色、灰紫蓝色，白炽灯光下表现为浅紫红色、褐红色。当Cr含量较高时，变色效应较为明显，在白炽灯光下呈现带有紫色色调的红色。变石与变色蓝宝石的鉴别与金绿

宝石与蓝宝石的区别相同。

3. 与变色尖晶石的鉴别

到目前为止，仅斯里兰卡发现一种变色尖晶石，含有2.27%的FeO及少量的Cr_2O_3(0.06%)和V_2O_3(0.03%)。变色效应表现为日光下呈紫蓝色，白炽灯光下呈红紫色。

尖晶石为单折射宝石，折射率为1.72。其特征的八面体负晶包体可区分于变石。

4. 与变色蓝晶石的鉴别

变色蓝晶石是极为罕见的。变色效应起因于蓝晶石中含有的Cr元素及Fe元素。蓝晶石的变色效应表现为在日光下和白炽灯光下分别为绿蓝色与红色。

蓝晶石具有比变石低的折射率，为1.72～1.73左右，多色性为无色、深蓝色和紫蓝色，不同于变石。蓝晶石的密度同变石较为接近，为3.68g/cm^3。蓝晶石具有特征的吸收光谱，即435nm和445nm的吸收带。

5. 与变色萤石的鉴别

变色萤石起因于宝石内部含有稀土元素Y^{3+}、Ce^{3+}和Sm^{3+}，变色萤石在日光下呈蓝色而白炽灯光下呈淡紫色。

变色萤石的性质明显区别于变石，其单折射，折射率极低（1.434），由此很容易区分于变石。

6. 与红柱石的鉴别

红柱石无变色效应，但它的强多色性产生的淡红色闪光可能误认为变色效应。红柱石多色性表现绿色和淡红褐色，有时为深绿，较少为粉红色。红柱石的折射率为1.63～1.64，密度为3.18g/cm^3，均低于变石，可据此加以区分。

7. 与合成变色蓝宝石的鉴别

变石最重要的仿制品为具有变色效应的合成蓝宝石。在现今的宝石市场上，常常误称为“合成变石”。纯净不含任何杂质元素的刚玉矿物是无色透明的，当刚玉中含有微量Cr元素时则产生红色，形成红宝石。当刚玉中Cr的含量达到20%时，刚玉即可呈现绿色，因为纯的Cr_2O_3即为绿色，因此加20%Cr_2O_3的刚玉就形成了介于具有红颜色的红宝石和具有绿颜色的Cr_2O_3之间的中间产物，产生变色效应，具有变色效应的合成蓝宝石在日光下呈现带有紫色色调的绿色，而在白炽灯光下呈现紫红色。此种合成蓝宝石主要通过焰熔法合成，因此在宝石显微镜下宝石内部可见焰熔法合成宝石所具有的特征的弧形生长纹。

具有变色效应的合成蓝宝石具有特征的吸收谱线，在475nm处产生特征的吸收线。另外合成蓝宝石作为一轴晶宝石具有二色性，而不是变石的三色性，合成蓝宝石的折射率（1.76～1.77）及密度（3.99g/cm^3）都明显高于变石。

含V的合成蓝宝石也可产生变色效应，但所产生的变色效应为在日光下呈现灰绿色而在白炽灯光下呈现近于紫晶色的红紫色。

8. 与石英拼合石的鉴别

一种不太常见的变石仿制品是由两块石英经过拼合组成的拼合石。在腰部胶结处加入了明胶滤色片以产生变色效应。这种仿制品的折射率值为1.544～1.553，仔细观察接合缝、接合缝处的气泡等现象可鉴别。

四、合成金绿宝石及其鉴别

合成金绿宝石的主要合成方法有：助熔剂法、晶体提拉法和区域熔炼法。与天然金绿宝

石一样，合成金绿宝石可以有金绿宝石、猫眼、变石三个品种，而且主要是合成变石。合成变石是最难于同变石鉴别的宝石。合成变石具有几乎同天然变石完全一样的物理、化学、晶体光学性质。因此，对于合成变石的鉴定仅能从合成变石内部包体的特点入手。不同的合成方法产生不同特征的内部包体。

对于助熔剂法合成变石，经常见到脉状包体，助熔剂包体可呈云雾状外观，具有细薄的、模糊的外形，也可以是粗粒的并含有助熔剂的小滴。在大约70倍放大镜下，熔剂小滴趋于拉长状，一群小滴大致在同一方向上拉长。在反射光中，具有粒状表面，并具淡黄橙色。助熔剂法合成变石另一常见的特征包体是微小的六边形或三角形铂金属片。铂金属片来源于铂坩埚。铂金属片在某些方向看起来黑色不透明，转动一定方向，铂金属片可发出亮白反射光。平行于晶面的生长线呈直线状，相互间并以一定角度交汇，生长线非常清晰，往往相似于助熔剂法合成祖母绿所显示的“威尼斯百叶窗”效应。成层的包体平行于种晶面也常见到。

晶体提拉法生长的合成变石具有针状包体及弧形生长纹，是鉴定其为合成品的证据。合成变石猫眼显示出极其细小的白色粒状包体，也发现有波浪状纤维包体。短波紫外线下宝石表现出弱的白至黄色荧光，而内部呈弱的红橙色荧光。在天然变石中还从没有见过这种荧光。

区域熔炼法生长的合成变石内部有时可见小的球形气泡，无规则颜色呈旋涡状结构也作为鉴定特征。实际上，在很多情况下，合成变石的内部非常洁净，包体特征不是十分明显，因此这时依靠常规的宝石学鉴定方法已不足以解决问题。

助熔剂法、晶体提拉法及区域熔炼法均属高温熔融法。在应用这些方法的过程中，没有水分子的加入，因此在合成变石的内部晶体结构中不含有水分子。天然变石形成于不同于合成变石的自然环境中，形成晶体的内部总是有微量水分子。应用红外光谱仪可以检测变石中是否含有水分子。对于含有水分子的天然变石在红外光谱上将产生水分子的特征吸收峰，而合成变石无此吸收峰的存在。由此可见，对于合成变石的鉴定，是一个较困难、较复杂的过程。

五、金绿宝石的质量评价

金绿宝石类宝石中的品种、质量评价要求不一。

1. 金绿宝石的质量评价

不具变色、猫眼效应的金绿宝石，其质量受颜色、透明度、净度、切工几方面因素影响，这其中高透明度的绿色金绿宝石最受欢迎，价值也较高。

2. 猫眼的质量评价

猫眼可呈现多种颜色，其中以蜜黄色为最佳，依次为深黄、深绿、黄绿、褐绿、黄褐、褐色。总之，颜色越淡、越带褐色、灰白色者价值越低。

猫眼的眼线讲求光带居中、平直、灵活、锐利、完整，眼线与背景要对比明显，并伴有“乳白与蜜黄”的效果。透明度越高猫眼效应反而越不强，同时颜色愈淡则猫眼效应愈弱。斯里兰卡出产的猫眼宝石一直著称于世，其中以蜜黄色光带呈三条线者为特优质品。

由于猫眼宝石的品质好坏与价值高低，是由颜色、光线、重量以及完美程度来决定的，所以对于猫眼宝石的各方面特点都应有所了解，而对其光线的特点则更应有一深刻的认识，一般猫眼宝石的光线特点是：

1）当猫眼宝石内部平行的结构有缺陷时，反映在宝石的光线上也就会有缺陷。如果是平

行排列结构疏密有别而不均匀连续时，则光线不连续而发生“断腿”现象。如内部结构不平行时，表现在光线上就会发生弯曲不直。

2）宝石表面的弧度，与猫眼宝石的光线有着一定的联系。一般来说，当宝石弧度小时，宝石的光线就会粗大或不清晰，相反，弧度大的宝石表面所表现的光线则细窄而清晰。

3）猫眼宝石的内部包体粗而疏时，光线就会混浊；当内部包体细而密时，宝石的光线也就会明亮而清晰。

4）猫眼宝石的底部一般不抛光，以此减少光线的穿透和散失，而增加光的反射，对于颜色的增加也有益处。

3. 变石的质量评价

变石中最受欢迎的两种颜色是能够在日光下呈现祖母绿色，而在白炽灯光下呈现红宝石红色。但实际上变石很少能达到上述两种颜色。多数变石的颜色是在非阳光下，呈现深红色到紫红色，并带有褐色调，褐红色最常见。在日光下，呈淡黄绿色或蓝绿色，同时，由于有较浅色调的褐色的存在，会使宝石的亮度降低至中等程度。变石要求变色效应要明显，白天颜色好坏依次为翠绿、绿、淡绿；晚上颜色好坏依次为红、紫、淡粉色。

六、金绿宝石的产状、产地简介

金绿宝石主要产在老变质岩地区的花岗伟晶岩、蚀变细晶岩中，以及超基性岩的蚀变岩——云母岩中。而真正具工业意义的金绿宝石矿大多产于砂矿中。

金绿宝石的主要产地有：原苏联的乌拉尔地区、斯里兰卡、巴西、缅甸、津巴布韦等。最好的变石，即具有强烈变色效应的变石产于原苏联的乌拉尔地区。而斯里兰卡砂矿中则产出黄绿色大颗粒变石及高质量的猫眼宝石。除斯里兰卡外，目前最主要的金绿宝石产地是巴西。巴西发现了金绿宝石类宝石的各个品种：包括透明的黄色、褐色金绿宝石；很好的猫眼及高质量的变石。

第五节　水　　晶

石英是地壳中最常见的造岩矿物之一，也是珠宝界应用数量和范围颇大的一类宝石。石英宝石可有显晶质、隐晶质等多种结晶形态，其中单晶石英在珠宝界统称水晶(Rock crystal)。

一、水晶的基本性质

（一）矿物名称

水晶的矿物名称为石英（Quartz），在矿物学上属于石英族。

（二）化学成分

水晶的化学成分为二氧化硅（SiO_2），纯净时形成无色透明的晶体，当含微量元素Al、Fe等时，经辐照微量元素形成不同类型的色心，产生不同的颜色，如烟色、紫色、黄色等。

（三）晶系及结晶习性

水晶属三方晶系，常见晶形为柱状（见图3-1-261），主要单形为六方柱$m\{10\bar{1}0\}$、菱面体$r\{10\bar{1}1\}$和$z\{01\bar{1}1\}$、三方双锥$s\{11\bar{2}1\}$及三方偏方面体$x\{51\bar{6}1\}$等，菱面体r一般比z发育，

当菱面体r和z同等发育时，外观上呈假六方双锥状。柱状晶体的柱面上发育有横纹和多边形蚀象（见图3-1-262）。

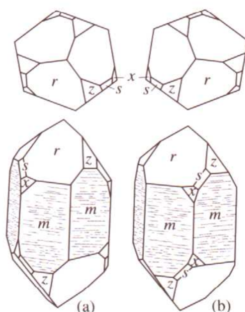


图3-1-261 水晶晶体

(a) 左形；(b) 右形



图3-1-262 水晶晶体实物图

(a) 较完整的水晶晶体；(b) 一端破损的柱状水晶晶体

水晶的结晶习性受温度和溶液饱和度影响，随着温度的升高，晶形从长柱状趋向短柱状，最后到假六方双锥状。水晶中常见的双晶有道芬双晶、巴西双晶、日本双晶等（见图3-1-263）。

道芬双晶和巴西双晶在外形上与单晶极为相似，晶体花纹均不连续，但仔细看它们的双晶结合线有差别。道芬双晶（见图3-1-263（a））双晶接合面呈不规则港湾状，柱面横纹不连续，缝合线弯曲。巴西双晶（见图3-1-263（b））由左形右晶体组成，柱面横纹不连续,缝合线呈平、折、直线状。日本双晶（见图3-1-263（c））常见两个扁平状水晶晶体以三方双锥晶面接合，其晶轴夹角为84°33′（见图3-1-264）。

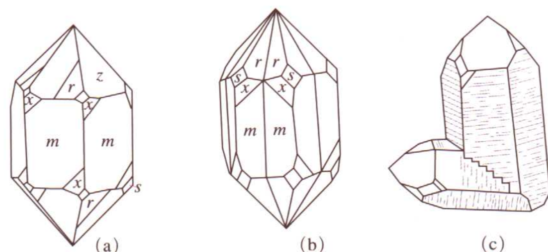


图3-1-263 水晶的双晶

(a) 道芬双晶；(b) 巴西双晶；(c) 日本双晶



图3-1-264 日本双晶

（四）光学性质

1. 颜色

水晶的颜色可有无色、紫色、黄色、粉红色、不同程度的褐色至黑色，以及绿色。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽，断口可具油脂光泽。

透明度：透明—半透明。无色水晶透明度可达到很高，清澈如水，随着包体含量的增加或有色水晶的颜色加深，透明度降低。

3. 光性

一轴晶正光性　水晶的一轴晶干涉图是独特的，其分割干涉色色环的黑十字臂达不到中心，形成一种中空的图案，俗称牛眼干涉图（见图2-1-34）。

4. 折射率与双折射率

折射率稳定，为1.544～1.553；双折射率为0.009。

5. 多色性

多色性弱，与体色深浅有关。

6. 紫外荧光

无。

7. 吸收光谱

不特征。

（五）力学性质

1. 解理

无解理，有典型的贝壳状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为7。

3. 密度

水晶的密度稳定，为2.66(＋0.03，－0.02) g/cm^3。

（六）内外部显微特征

放大检查常见气液二相包体，气、液、固三相包体；色带；固态包体有针状金红石、电气石及其他固体矿物；负晶。

（七）其他性质

单晶水晶具有压电性，因此无色、纯净。不具双晶的水晶可广泛应用于科学技术领域，例如用做频率控制的石英谐振器等。

二、水晶的品种及鉴定特征

依据颜色，可将水晶划分成不同的宝石品种：水晶、紫晶、黄晶、烟晶、芙蓉石等；依据特殊的光学效应，又可将其划分为星光水晶、石英猫眼；依据包体特征，又可将其划分为发晶、水胆水晶等。

1. 水晶

水晶是无色透明的纯净的二氧化硅晶体，内部可含丰富的包体，常见的包体有负晶、流体包体及各种固态包体。

负晶及流体包体：负晶多为它形—半自形，受后期溶液的作用，边缘不规则。偶尔可见发育完好的负晶，呈自形柱状，两端菱面体尚存，酷似一个完整水晶晶体。较大的负晶多单独分散出现。当负晶内未充填液体时，为一空穴，空穴具明显的负突起，与主晶界线分明，具有黑色轮廓。当负晶被气液充填时便形成了流体包体（见图3-1-265）。

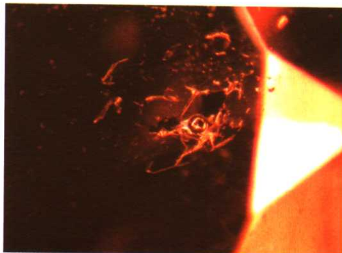


图3-1-265 水晶中的气液两相包体

随着主晶的生长和冷却，负晶内充填的均匀的流体可分解成为二相或多相的包体。据资料报道，瑞士高特哈地区所产水晶的负晶最终演变成四相包体，从中心向外依次可观察到一个

二氧化碳的气泡、液体二氧化碳、一个岩盐晶体，这一切的周围为饱和的水溶液（见图3-1-266）。

在水晶中最常出现的是一种十分细小的负晶，晶形不规则，单体细小，分散或密集分布，呈雾状、絮状、渣状，高倍镜下才能看清这些细小负晶内存在着气液两相包体。

固态包体：水晶内固态包体种类繁多，这其中主要为非金属包体，另外也常出现金属包体。

非金属包体：水晶内非金属固态包体种类很多，一些包体的特定晶形以及晶形聚集构成的图案，不仅是天然水晶的确凿证据，同时还形成了一些人们喜爱的品种。其中常见的非金属包体有：金红石、电气石、阳起石。金红石多呈金黄色、褐色—褐红色，偶见银白色；电气石多为棕褐色、黑色、蓝色（见图3-1-267）；阳起石则为浅黄绿色至绿色。水晶内常见的非金属包体还有绿泥石、磷灰石、角闪石、绿帘石、方解石和云母等。



图3-1-266 水晶中的空晶与三相包体

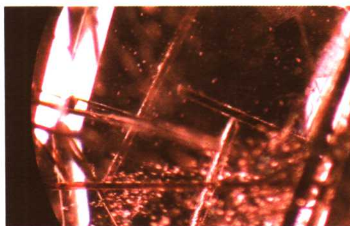


图3-1-267 水晶中的电气石包体

金属包体：常见的金属包体有板钛矿、钛铁矿、黑钨矿、赤铁矿、褐铁矿、针铁矿、纤铁矿、方铅矿、磁铁矿、黄铁矿、锡石和自然金等。其中针铁矿呈金黄色，束状；赤铁矿呈赤红色，线状、片状；褐铁矿呈褐色、褐红色，鳞片状、结核状。

这些金属矿物包体给水晶带来了色彩斑斓的颜色，也在水晶内形成一幅幅的天然图画，为水晶宝石平添了几分神秘。在市场交易中由此产生了许多描绘性的名词,例如“绿幽灵”（绿色内含物可能为绿泥石），“红兔毛”（红色内含物可能为纤铁矿或针铁矿）等等。

2. 紫晶

一种紫色的水晶，成分中含有微量的铁，经辐照作用，Fe^{3+} 离子的电子壳层中成对电子之一受到激发，产生空穴色心 FeO_4^{4-}，空穴主要在可见光550nm处产生吸收，而使水晶产生紫色。在加热或阳光暴晒下紫晶中的色心会遭到破坏，发生褪色。

紫晶的颜色从浅紫到深紫色，可带有不同程度的褐色、红色、蓝色，巴西所产高品质紫水晶呈较深的紫色，迎着顶刻面观察，可见到紫红色的闪光。而非洲等地的紫水晶则带有浓浓的蓝色色调。我国河南等地产的紫水晶颜色较浅，颜色特点与巴西浅色紫晶相同，为浅紫色，可带微弱的褐色色调，透明度高。

紫晶的多色性受体色的颜色特征及体色的深浅影响，一些浅紫色品种仅有微弱的多色性，为浅褐紫—浅紫。深色的紫水晶可有红紫—紫色、蓝紫—紫色两种类型的多色性。

紫晶中颜色分布不均匀，它可表现为如下几种情况：最常见的是色带，紫色色带平行分布，有时两组色带以一定角度相交分布；有时可见到色块，色块边缘有平直的边，呈不规则的几何图形状。少数情况下可见颜色呈不规则的团块状、絮状，团块边缘紫色浅淡，向中心紫色渐浓，犹如一滴在清水中渐渐散开的紫墨水。

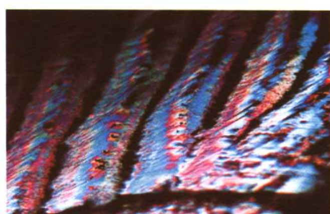
水晶中所出现的一些包体原则上都可出现在紫晶中，此外紫晶还可有一些较为特征的内部现象：

（1）“虎纹”或称“斑马纹”

是紫晶沿菱面体的双晶或沿菱面体发生的部分间距愈合产生的，表现为颜色明暗、深浅

差异现象（见图3-1-268），在正交偏光下斑纹表现出一种波浪状的干涉色（见图3-1-269）。


图3-1-268 水晶中微裂隙中的白色出溶物形成“虎纹”


图3-1-269 在偏光显微镜下“虎纹”出现干涉色

（2）球状、小滴状不透明深褐色包体

这可能是某些金属矿物受熔蚀而成，有时这些小球或小滴可组成多种形态。

3. 黄晶

一种黄色的水晶，成分中含有微量的Fe和结构水H_2O。颜色可能与晶体中成对占位的Fe^{2+}有关，常见的颜色有浅黄、黄色、金黄色、褐黄色、橙黄色。多色性可有浅黄—黄、黄—橙黄、黄—褐黄多种。黄晶一般都具有较高的透明度，内部特征与紫晶相同。

黄晶在自然界产出较少，常同紫晶及水晶晶簇伴生，市面上流行的黄晶多数是由紫晶加热处理而成或为合成黄晶。

4. 烟晶

一种烟色至棕褐色的水晶，也称“茶晶”。成分中含有微量的Al，Al^{3+}离子代替Si^{4+}离子，受到辐照后产生$[AlO_4]^{4-}$空穴色心，而使水晶产生烟色。烟晶多色性有浅褐色—烟褐色，褐色—棕色，颜色不均匀，可呈细密的带状或斑块状；透明度从半透明到不透明，并含有丰富的气液包体和金红石包体，烟晶加热后可变成无色水晶。

5. 芙蓉石

一种淡红色至蔷薇红色石英，也称“蔷薇水晶”，因成分中含有微量的Mn和Ti而致色。自形单晶体少见，通常为块状；透明度较低，多呈云雾状，或半透明状；一般情况下，由于自身体色较浅，多色性表现不明显，可呈无色—淡粉色。毛矿裂隙发育，裂隙内常被褐铁矿等杂质充填。在部分情况下，芙蓉石内可含有针状金红石包体，因而磨制成弧面宝石可显示出星光。由于金红石细小，芙蓉石有一定透明度，可显示透射星光。芙蓉石的颜色不太稳定，加热可褪色；长时间日晒，颜色会变淡。

6. 双色水晶

一种紫色和黄色共存一体的水晶，紫色、黄色分别占据晶块的一部分，两种颜色的交接处有着清楚的界限。双色是由于水晶内的双晶所致。紫色和黄色分别发育于双晶单体中的r面和z面。

7. 绿水晶

一种稀少的绿—黄绿色的水晶，其颜色与Fe^{2+}有关。市场上几乎不存在天然产出的绿水晶，它们是紫水晶在加热成黄水晶过程中出现的一种中间产物。

8. 石英猫眼

当水晶中含有大量平行排列的纤维状包体，如石棉纤维时，其弧面形宝石表面可显示猫眼效应，称为石英猫眼（见图3-1-270）。

9. 星光水晶

当水晶中含有两组以上定向排列的针状、纤维状包体时，其弧面形宝石表面可显示星光

效应，一般为六射星光，也可有四射星光（见图 3-1-271）。

10. 发晶

无色透明的水晶晶体中含有纤维状、草束状、针状、丝状、放射状的金红石、电气石、角闪石、阳起石、绿帘石、自然金等固态包体，这些包体常呈细小的针状，纤维状，定向排列，犹如发丝，传统上把这类水晶称为发晶。包体的颜色不同，所形成的发晶也不尽相同，常见的颜色有黑色、金黄色、铜红色、银白色、绿色等（见图 3-1-272）。



图 3-1-270 石英猫眼



图 3-1-271 星光水晶



图 3-1-272 金色发晶

11. 水胆水晶

透明水晶晶体的内部含有较大的液态包体被称作水胆水晶。有些大型水胆水晶的晶体在摇晃时，还能看到液体的滚动。这种水晶的形成是由于其晶体生长速度较快，与它混在一起的岩浆热液、水溶液等被包裹所致。

三、水晶与相似宝石的鉴别

不同颜色的水晶其相似宝石品种不同，现分述如下。

1. 无色水晶与无色长石的鉴别

无色水晶与长石较难区别，因为二者都为无色透明的晶体，折射率值范围接近（长石折射率 1.52～1.57 之间），密度范围接近（长石密度 2.65～2.7g/cm³），特别对于那些已镶在戒托上，且表面抛光程度不好的长石和水晶来说，区别更为困难。这时用放大检查就显得十分重要。长石的解理十分发育的，两组解理近于垂直，在显微镜下可见由两组解理相交而成的“蜈蚣状”包体，或解理造成的细直的纹理。而水晶的解理不发育，在水晶中只可能见有弯曲的、不规则状的裂理。在手标本的鉴别中，可以通过表面断口的观察区别二者，水晶具有典型的贝壳状断口，而长石则由于解理发育，具有一种阶梯状的断口。

2. 紫晶、黄晶与方柱石的鉴别

与紫晶易混的是紫色方柱石，二者颜色相近、折射率范围相近，方柱石折射率值为 1.550～1.564，双折射率为 0.004～0.037，为一轴负晶。

在常规鉴定中，可以从以下几方面考虑对二者进行区别：

1）紫晶的颜色常不均匀，具色带和色域，而方柱石的颜色相对均匀。

2）由于方柱石有略高于紫晶的双折射率，因此在平行光轴的切面中，可见到后刻面重影，以此可与紫晶区别。

3）在显微镜下观察，可以发现方柱石中的典型包体是一些平直的平行排列的细管，这也是方柱石经常可以出现猫眼效应的原因，而紫晶中的包体常是些不规则的气液两相包体，很少出现猫眼效应。

4）方柱石具一组中等解理，而紫晶无解理。

5）在偏光镜下，利用干涉图可以准确地区分水晶与方柱石，水晶的干涉图是牛眼状、螺

旋桨状，而方柱石则是标准的一轴晶干涉图，且水晶为正光性，方柱石为负光性。

与黄晶易混的是黄色方柱石，二者的区别除可借鉴紫晶与紫色方柱石的鉴别方法外还可考虑以下两点：

1）黄色方柱石在短波紫外光下可有红色荧光，在长波紫外光下发黄色荧光，而黄晶无荧光或荧光极弱。

2）方柱石是一个类质同象系列，其颜色随成分而变，在方柱石系列里，黄色方柱石具有最大的双折射率，因此根据其后刻面重影可以与黄晶区分开来。

3. 紫晶与堇青石的鉴别

虽然堇青石在折射率方面与紫晶接近，但只要稍加注意，便可将两者区别开来。堇青石的颜色是紫蓝色—蓝色，很少出现紫晶的紫色；堇青石具有明显的多色性，在较明亮的环境中，转动堇青石，肉眼可见的三色性足以与紫晶区分。

4. 黄晶与黄色托帕石的鉴别

黄晶与黄色托帕石颜色上很相近，市场上常出现黄晶、黄托帕石混淆的现象。但仔细观察可以发现：

1）黄色托帕石比黄晶光泽强。

2）在未镶嵌的宝石中同等大小的戒面黄托帕石重于黄晶，前者的密度为3.53g/cm^{3}左右，而后者仅有 2.66g/cm^3。

3）托帕石具有一组完全解理，而水晶无解理。

4）如果在折射仪上测试，黄晶为一轴晶矿物，两条阴影界限中的一条是不动的为一定值，而黄托帕石的二条阴影界线都可上下移动的。折射率值亦相差较大。

四、合成水晶及其鉴别

（一）合成水晶概况

大约在 1908 年世界上第一颗水热法合成水晶诞生，20 世纪 70 年代原苏联合成了黄晶和紫晶，至今合成彩色水晶被广泛用于珠宝业，主要品种是合成紫晶、合成黄晶，另有少量绿色、蓝色及黄、绿两色的双色水晶。

合成水晶是在种晶的基底上生长起来的一种晶体。不同颜色的合成水晶其种晶的取向不同，掺杂离子也不太相同。

（二）合成水晶的鉴别

1. 颜色

合成水晶是在相对稳定的条件下经人工生产的产品，因此其批量产品内部特征表现出过多的统一性。无色合成水晶具有统一的高透明度，彩色水晶表面表现出均匀、统一的颜色；有时受着色剂浓度的影响，颜色可有过深或过浅的现象。

2. 种晶

合成水晶中可见种晶板，种晶板有无色、彩色两种。种晶板与后期生长水晶之间有清楚的界限和颜色差异（见图 3-1-273）。受高压釜内过饱和溶液或釜内温度波动的影响，一些杂质或自发形成的微晶粒落在种晶板的晶面上或有缺陷的部位，形成微小双晶，即花絮状双晶。在显微观察中这些杂质或絮状



图 3-1-273 合成水晶晶体

双晶表面为灰白色雾状。种晶板的附近还常出现应力裂纹，这些裂纹十分细小，裂隙面呈弯折状，与种晶板成一定夹角排列，在已加工好的宝石顶部，常可见到这种雁行排列的裂纹。

3. 包体特征

天然水晶可有品种繁多的固态包体，而合成水晶中主要出现的是锥辉石，或石英的微晶核。这些固态包体都表现为一种面包渣状。这些"面包渣"也可能来源于那些未溶解的原料，当水晶生长条件较稳定时，"面包渣"就十分稀少，单个或几个出现；当水晶生长条件不稳定时，特别是在合成水晶生长阶段发生中断时，在平行于种晶板的一些平面内"面包渣"大量出现，犹如"桌面灰尘"，一层甚至两三层贯穿于整个晶体中。初学者常把这些"面包渣"或"桌面灰尘"当成天然水晶的证据，把它们与天然水晶中出现的细小的"絮状"、"渣状"以及愈合裂隙内的气液指纹状包体混同起来。如果仔细观察这两种不同成因的包体还是有区别的，首先天然水晶中的指纹状包体常沿裂隙充填，分布于晶体的某一局部，不同方向的裂隙产生不同方向排列的指纹状包体。而桌面灰尘状包体，则贯穿于整个晶体，几层桌面灰尘状包体大致定向排列。在高倍显微镜下天然水晶的"面包渣"多为细小的气液两相包体，而合成水晶的"面包渣"则为均一细小的雏晶（见图3-1-274）。

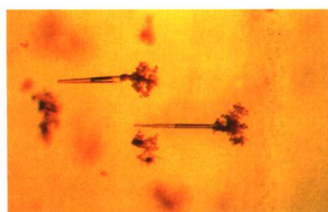


图3-1-274 水热法合成水晶中的〝面包渣〞状包体

4. 色带

合成彩色水晶（主要是紫晶、黄晶）中亦可出现色带，但仅出现一组色带，色带平行于种晶板。在合成紫晶中，种晶板平行于正菱面体*r*面或负菱面体*z*面，晶体生长的主要方向平行于种晶板，因此合成紫晶仅有平行于菱面体方向的色带，以及与色带平行的密集的生长纹。

在合成黄晶中，种晶板平行于晶体的底面*c*，亦即垂直于晶体的光轴，因此在合成黄晶中可看到垂直于晶体光轴的平行色带和密集的晶体生长纹。在具体鉴定中可利用正交偏光与干涉球，首先找到光轴方向，再确认色带的方向。

5. 双晶

天然水晶中常出现巴西律聚片双晶，双晶可以贯穿整个晶体，也可能仅表现在晶体的局部。在天然水晶中非双晶区域可显示牛眼干涉图，在双晶区域可显示"螺旋桨"状干涉图，而在合成水晶中，一般见牛眼干涉图，但看不到"螺旋桨"干涉图。

6. 红外吸收谱

对于那些非常纯净、生长痕迹十分不明显的水晶饰品，在常规仪器的鉴定中会带来很大困难，然而红外光谱仪的介入，在这方面提供了解决问题的途径。

经红外光谱测定可知，水晶晶体中含有OH^-或H_2O，在红外光谱中，H_2O表现出在3200cm^{-1}～3600cm^{-1}区间的伸缩振动谱带，在1500cm^{-1}～1700cm^{-1}区间的弯曲振动谱带，以及在5200cm^{-1}的伸缩振动与弯曲振动的合频谱带。

天然无色水晶以3595cm^{-1}和3484cm^{-1}为特征吸收（见图3-1-275），而合成水晶则缺失3595cm^{-1}和3484cm^{-1}，并以3585cm^{-1}或5200cm^{-1}吸收明显为特征。

天然紫晶与合成紫晶因含OH^-及Fe含量较高，二者具有相近似的红外光谱，但是合成紫晶具有明显的3545cm^{-1}谱带，而天然紫晶中这一谱带的强度则明显减弱（见图3-1-276）。

天然黄晶与合成黄晶红外光谱大致相同，而热处理黄晶以相对较弱的5200cm^{-1}谱带与天然黄晶和合成黄晶相区别（见图3-1-275）。

天然烟晶与合成烟晶：与天然烟晶相比，合成烟晶的红外光谱缺失 3595cm^{-1}、3484cm^{-1} 吸收（见图 3-1-276）。

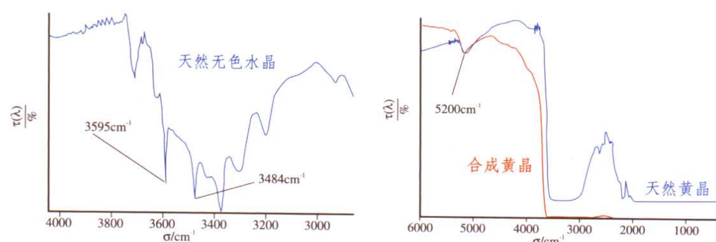


图 3-1-275 天然无色水晶、黄晶与合成黄晶的红外光谱

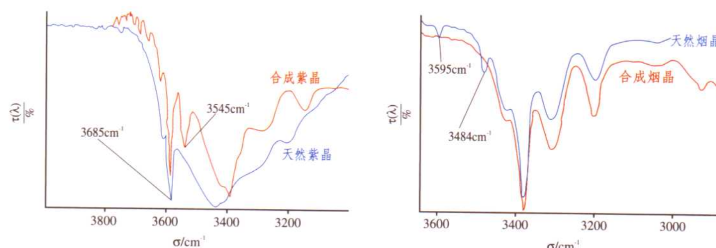


图 3-1-276 天然紫晶、烟晶、及合成紫晶、合成烟晶红外光谱

（三）合成水晶仿发晶

某些合成水晶的种晶板两侧出现“麦苗”样的生长空管，在这些空管中染色，市场上用来仿发晶（见图3-1-277）。天然发晶与合成水晶仿发晶在鉴定上相对简单，天然发晶内部的针状包体是具有特定几何形态的晶体，其截面也有相对固定的形状，例如金红石横截面是方形，电气石横截面是圆三角面，且针状包体粗细一致，颜色均一；合成水晶仿发晶的内部“发丝”是一头大一头小，横截面为不规则状的空管，由于抛光过程中抛光粉进入空管或经人工染色处理，其颜色分布往往不均匀。



图 3-1-277 合成水晶仿发晶

五、水晶的优化处理及其鉴别

水晶的优化处理主要有热处理和辐照处理、染色处理。

（一）热处理、辐照处理

热处理多用于一些颜色较差的紫晶，将紫晶加热后可制成黄晶或过渡产品绿水晶。这种热处理已被人们所接受。

辐照处理用于无色水晶变成烟晶，在这种情况下先对无色水晶进行辐照使其变为深棕色、黑色，再经热处理减色，以形成所需的颜色。

（二）染色处理

水晶的染色处理，首先是把待处理的无色水晶加热、淬火然后浸于配好颜色的溶液中去，有色溶液沿淬火裂隙浸入使水晶染上各种颜色。染色水晶有明显的炸裂纹，颜色全部集中在裂隙中，用放大镜或显微镜仔细检查是很容易识别的（见图 3-1-278）。还有另一种情况是将

加热淬火的无色水晶，浸于无色溶液中，这时无色溶液沿裂隙充填，由于裂隙内液体薄膜干涉效应，使这种原本无色的水晶带上了一种五颜六色的晕彩。

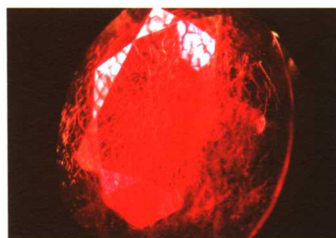


图 3-1-278 染色水晶中颜色富集在裂隙中

六、水晶与其仿宝石的鉴别

水晶的仿宝石主要是玻璃。在我国市场上出现用玻璃仿水晶的产品主要有玻璃球、玻璃项链、茶色玻璃镜片等。

1. 水晶球与玻璃球的鉴别

20世纪80年代中期，由于东南亚的水晶球热，在我国引发了一场水晶球销售热，这期间出现了各种类型的玻璃球仿水晶球。这些玻璃球按照成分又可分为普通玻璃球、高铅玻璃球和高硅玻璃球。

普通玻璃球：SiO_2 含量在73%左右，另含有30%左右的 Na_2O、CaO，折射率1.5左右，密度仅在2.5g/cm^3 左右，外观具有灰色、灰绿色色调。

高铅玻璃球：是一种添加了PbO的玻璃球，其PbO含量可高达37%左右。这种玻璃球具有明亮的玻璃光泽，可具有较高的折射率值。

高硅玻璃球：是用“熔炼水晶”熔融后制成的球。熔炼水晶是我国工业水晶中的一个级别，这个级别的水晶含有较多的杂质、裂隙，不能用作压电水晶。将熔炼水晶回炉熔融后可形成一种高硅玻璃，其 SiO_2 含量可达99%以上，折射率在1.50～1.52之间，密度在2.2～ 2.4g/cm^3 左右，内部纯净，具有高透明度。

上述用于仿水晶球的玻璃可有很大的直径，从十几厘米到二十分米；内部可有少量气泡，最简单的检查办法是将这些玻璃球置于有字或有线条的纸上，转动球体观察下边的字或线条。由于玻璃是均质体，所以在玻璃球的转动过程中，只观察到字和线的单影。而水晶是非均质体，当转动水晶球观察时，可以看到字和线的双影。受天然水晶晶体直径的影响，天然水晶球一般直径较小，可有2cm、5cm，直径达到10cm的纯净水晶球已是天然水晶球中的上品，而达到20cm直径的水晶球则是十分稀少的了。

天然水晶球一般无色，可有淡淡的烟色，内部包体较多。

2. 茶色玻璃镜片

茶色玻璃镜片，表现出颜色的均匀性及均质体性，但也应注意在个别茶色玻璃镜片的检查中发现它的光性异常，在正交偏光中表现出异常消光，这可能是镜片在成型过程中由于应力作用所致。另外，放大检查时玻璃镜片中可有微小的气泡存在。

3. 玻璃制成的仿水晶项链

用于仿水晶项链的玻璃可有无色、彩色、黑色。无色玻璃珠上有时会有一层彩色涂层，因而可显示五颜六色的晕彩。这一类制品都脱离不了玻璃的共性，只需仔细检查，就可鉴别。

七、水晶的产状、产地简介

水晶主要产于伟晶岩脉或晶洞中，几乎世界各地都有水晶矿的产出。而彩色水晶的著名产地主要有巴西的米纳斯、吉拉斯（Minas Gorais）、马达加斯加、美国的阿肯色州、俄罗斯的乌拉尔、缅甸等。

我国的水晶资源丰富，25个以上的省区均有水晶产出。江苏是中国优质水晶的主要产地，其中以东海最为著名，被称为中国的“水晶之乡”。此外海南、新疆、四川也是高品质水晶的产地。

第六节　石 榴 石

石榴石的英文名称为Garnet，来自于拉丁语Granatum。意思是“像种子”或“有许多种子”。这是因为石榴石晶体具有石榴籽的形状与颜色。数千年来，石榴石被认为是信仰、坚贞和淳朴的象征。红色的石榴石是一月的生辰石。

一、石榴石的基本性质

（一）矿物名称

石榴石（Garnet）。在矿物学中属于石榴石族。

（二）化学成分及分类

石榴石是岛状硅酸盐矿物，由于这一族矿物存在着广泛的类质同象替代，因此每一种石榴石的化学成分亦有较大变化。石榴石的化学成分通式为$A_3B_2(SiO_4)_3$。其中A表示二价阳离子，以Mg^{2+}、Fe^{2+}、Mn^{2+}、Ca^{2+}等离子为主；B代表三价阳离子，多为Al^{3+}、Cr^{3+}，Fe^{3+}、Ti^{3+}、V^{3+}及Zr^{3+}等。由于进入晶格的阳离子的半径相差较大，又将这种类质同象替代分为两大系列。一类是B位置以三价阳离子Al^{3+}为主，A位置以半径较小的Mg^{2+}、Fe^{2+}、Mn^{2+}等二价阳离子之间进行类质同象替代所构成的系列，称为铝质系列，常见品种有镁铝榴石、铁铝榴石、锰铝榴石；另一类是A位置是大半径的二价阳离子Ca^{2+}为主，B位置以Al^{3+}、Cr^{3+}，Fe^{3+}等三价阳离子之间进行类质同象替代所构成的系列，称为钙质系列，常见的有钙铝榴石、钙铁榴石、钙铬榴石。此外，一些石榴石的晶格还附加有OH^-离子，形成含水的亚种，如水钙铝榴石等。由于广泛的类质同象替代，石榴石的化学成分通常很复杂，其宝石种属的划分见表3-1-27。自然界石榴石的成分通常是类质同象替代的过渡态，很少有端员组分的石榴子存在。

表3-1-27　石榴石族宝石种属划分

名　称		分子式	英文名称	变种或其他名称	英文名称
铝质系列	镁铝榴石	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	Pyrope	红榴石（红色的铁镁铝榴石）	Rhodonite
	铁铝榴石	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	Almandine	贵榴石（铁铝榴石）	Almandite (Almandine)
	锰铝榴石	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	Spessartite (Spessartine)		
钙质系列	钙铝榴石	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	Grossularite (Grossular)	桂榴石（褐黄色的铁钙铝榴石） 铬钒钙铝榴石（绿色含铬钒的钙铝榴石） 水钙铝榴石（含羟基的钙铝榴石）	Hessonite Tsavolite (Tsavorite) Hydrogrossular
	钙铁榴石	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	Andradite	翠榴石（含铬的钙铁榴石） 黑榴石（含钛的钙铁榴石）	Demantoid Melanite (Pyreneite)
	钙铬榴石	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	Uvarovite		

（三）晶系及结晶习性

石榴石族矿物属等轴晶系。硅氧四面体在晶体内部空间呈岛状分布，之间由以三价阳离子

为中心的八面体以及以二价阳离子为中心的十二面体（畸变的立方体）相连接（见图3-1-279）。

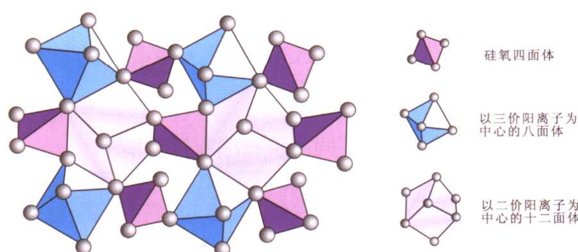


图 3-1-279 钙铝榴石所示的石榴石晶体结构

石榴石通常具有完好的晶形，常见的晶形有菱形十二面体（*d*）、四角三八面体（*n*）、六八面体（*s*）以及三者的聚形（见图 3-1-280）。石榴石晶面上常有聚形纹。

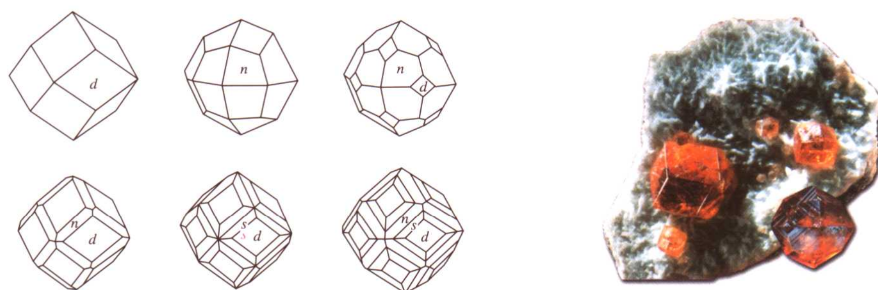


图 3-1-280 常见石榴石结晶形态及实际晶形

（四）光学性质

1. 颜色

石榴石的颜色千变万化，除蓝色以外的各种颜色几乎均有出现（见图 3-1-281）。这与其广泛的类质同象替代有密切的联系。作为宝石的石榴石，常见的颜色有：

1）红色系列　包括红色、粉红、紫红、橙红等；

2）黄色系列　包括黄、橘黄、蜜黄、褐黄等；

3）绿色系列　包括翠绿、橄榄绿、黄绿等。



图 3-1-281 各种颜色的石榴石

2. 光泽及透明度

石榴石的光泽多为玻璃光泽。即使同属玻璃光泽的石榴石也依其折射率值的不同彼此之间会有些差异。折射率较高的品种可呈亚金刚光泽。断口为油脂光泽。石榴石为透明矿物，其透明度一般都较好，但是一些石榴石内部包体过于密集，会降低石榴石的透明度。例如，一些星光石榴石的透明度就远不如相同品种的石榴石。此外，石榴石的集合体通常呈半透明至不透明状。例如，我国青海、新疆等地产出的绿色水钙铝榴石呈半透明状，粉红色宝石级水钙铝榴石也呈半透明状。

3. 光性特征

石榴石为均质体矿物，正常情况下应为全消光，但石榴石常出现异常消光现象。造成这种异常消光的原因主要是石榴石内部晶格的变动。晶格变动主要由两种原因引起：①应力作用导致石榴石内部晶格变动，特别是变质成因的石榴石，这种异常消光很普遍；②类质同象替代普遍而复杂造成的晶格变化。

4. 折射率

石榴石是均质体矿物，其折射率值随成分变化而略有不同，无双折射率。从矿物学角度来看，铝系列的石榴石折射率值在1.710～1.830之间，钙系列的石榴石折射率值在1.734～1.940之间（见表3-1-28）。

表3-1-28 不同品种石榴石折射率

品种名称	n
镁铝榴石	1.714～1.742，常见1.74
铁铝榴石	1.760～1.820
锰铝榴石	1.790～1.814
钙铝榴石	1.730～1.760
钙铁榴石	1.855～1.895
钙铬榴石	1.820～1.880
水钙铝榴石	1.670～1.730

5. 多色性

无。

6. 荧光性

石榴石族矿物特别是作为宝石级的石榴石，在紫外线下为惰性，这是石榴石有别于其他红色宝石的特征之一。

7. 吸收光谱

不同的石榴石品种吸收光谱差别较大，石榴石的颜色多样性是由于不同的致色元素造成的，其中最主要的还是类质同象替代改变了其对光的吸收，因而产生截然不同的吸收谱。不同品种石榴石的特征吸收谱将在下面的有关内容中介绍。

8. 特殊光学效应

石榴石中可以出现星光效应、变色效应和猫眼效应。

石榴石中星光效应稀少，通常出现四射星光，偶见六射星光。由于针状包体方向不同，在不同的晶面方向出现的星线角度和数量有一定的差异。当针状金红石包体平行于石榴石菱形十二面体晶棱方向（即4个三次轴方向）时，在菱形十二面体面上可以观察到110°和70°的斜交四射星光（见图3-1-282）；当针状包体平行于石榴石八面体晶棱方向（即6个二次轴方向）时，在立方体面上可以观察到正交的四射星光，而在八面体面上可以观察到六射星光；。有时正交的四射星光和六射星光可以同时出现在球形石榴石表面（见图3-1-283）。

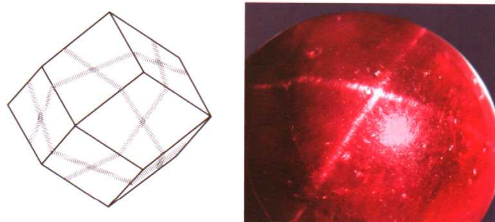


图3-1-282 斜交的四射星光晶体示意图（左）和实物图（右）

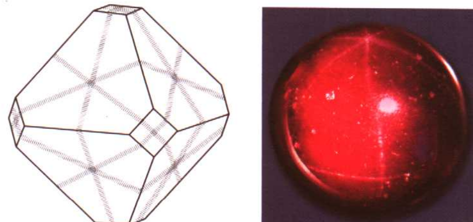


图3-1-283 四射星光和六射星光晶体示意图（左）和实物图（右）

镁铝榴石和镁铝－锰铝榴石常常出现变色效应，日光下呈现蓝绿色而在白炽灯光下呈现酒红色或带有红色调的紫色（见图3-1-284）。变色石榴石富含Mn、Fe、V^{3+}及微量的Cr。这些元素的吸收作用产生了复杂光谱：在蓝绿区存在两个吸收峰（488nm和506nm）和橙黄区的宽吸收带（以575nm为中心）。488nm吸收峰可能与Mn^{2+}有关，506nm处的吸收峰是由Fe^{2+}造成的，而橙黄区的吸收宽带主要由Cr和V共同作用产生。并且V^{3+}在镁铝－锰铝榴石中导致黄绿区的吸收带向长波偏移，从而使变色石榴石对红、绿光的吸收达到均衡的状态。所以在变色石榴石中，V^{3+}应该是导致变色的最主要原因。

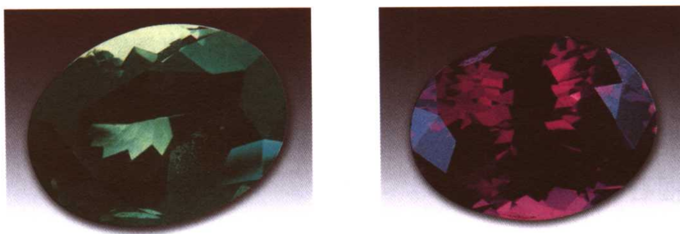


图3-1-284 变色石榴石日光下呈绿色（左）和白炽灯下呈红色（右）

（五）力学性质

1. 解理

石榴石通常解理不发育，个别品种可有{110}方向的不完全解理，其断口为参差状。

2. 密度

石榴石密度亦受类质同象替代的影响，不同的品种密度值变化较明显。从矿物学角度看，石榴石的密度在3.50～4.30g/cm³之间变化，类质同象替代进入晶格的阳离子原子量越大，密度值也相对越高。石榴石密度与折射率值成正比。

3. 硬度

石榴石的摩氏硬度亦与类质同象替代有关，不同品种硬度略有不同，石榴石的摩氏硬度在7～8之间变化。

二、石榴石的品种

（一）镁铝榴石

化学成分为$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$，其中常见少量的Fe、Mn替代Mg。自然界中几乎没有纯的镁铝榴石。Mg^{2+}占据十二面体空间，常常或多或少地被Fe^{2+}、Mn^{2+}等离子取代。其中Mg^{2+}和Fe^{2+}最容易形成完全的类质同象替代，当Fe^{2+}和Mn^{2+}原子数之和小于Mg^{2+}原子数时，可将其定名为镁铝榴石。



图3-1-285 镁铝榴石

镁铝榴石的颜色以紫红色—橙色色调为主，宝石级镁铝榴石常见有紫红色、褐红色、粉红色、橙红色等（见图3-1-285）。研究发现，颜色深浅的变化与其中含的Cr_2O_3有关。当Cr_2O_3高时，红色色调加深，当Cr_2O_3低时，橙色色调加深，少量产于金伯利岩中的镁铝榴石还具变色效应。

镁铝榴石的密度值为3.78(＋0.09，－0.16)g/cm³。折射率为1.714～1.742，常见1.74。

镁铝榴石的吸收光谱为：564nm宽吸收带，505nm吸收线。含铁的镁铝榴石可有445nm、440nm吸收线；优质镁铝榴石可有Cr吸收，685nm、687nm吸收线及670nm、650nm吸收带。例如，捷克波西米亚和美国亚里桑纳州等地产出的深红色含Cr的镁铝榴石就属此类。

镁铝榴石的特征包体有针状矿物及其他形状的结晶矿物包体。据Gubelin实验室研究，波西米亚镁铝榴石中常含有石英晶体。另一些晶质包体可能是普通辉石。亚里桑纳镁铝榴石中还可见一些八面体形状的矿物包体。还有相当数量的镁铝榴石在显微镜下看不见包体。由于石榴石解理不发育，因此在镁铝榴石中很少见到裂隙。

（二）铁铝榴石

铁铝榴石也称为贵榴石，主要化学成分为$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$，其中Fe^{2+}常被Mg^{2+}、Mn^{2+}等离子取代，形成类质同象替代系列。宝石级铁铝榴石常见的颜色以红色色调为主，包括褐红色、粉红、橙红等。铁铝榴石的密度为4.05(＋0.25，－0.12)g/cm³，其密度随Fe^{2+}被Mg^{2+}取代的多少而变化，Mg^{2+}取代Fe^{2+}越多，密度值越低。铁铝榴石的折射率比较高，为1.760～1.820，常见1.79。铁铝榴石为均质体矿物，但在偏光镜下，很多铁铝榴石可有异常消光。

铁铝榴石的特征吸收光谱由Fe^{2+}的吸收造成，在573nm强吸收带，在504nm、520nm（绿区）处有两条较窄的强吸收带，称为“铁铝榴石窗”。此外，铁铝榴石还可以在423nm、460nm、610nm、680～690nm有一些弱的吸收带。铁铝榴石吸收谱线的强弱与Mg^{2+}的类质同象替代有关，Mg^{2+}取代Fe^{2+}越多，则吸收就越弱。

铁铝榴石的常见包体有针状包体、结晶矿物包体等。针状包体通常呈三个方向定向排列，相互以110°、70°角相交（见图3-1-286）。当这种定向排列的针状包体非常密集时，可使石榴石产生四射和六射星光效应。铁铝榴石中结晶矿物包体通常具有完好的晶形。斯里兰卡产的铁铝榴石中，还常见特征的“锆石晕圈”，即细小的锆石晶体被包裹在铁铝榴石中，在其周围还带有一个晕环，是由锆石内所含微量的放射性元素辐射造成。其他还有磷灰石（见图3-1-287）、钛铁矿、尖晶石等包体。

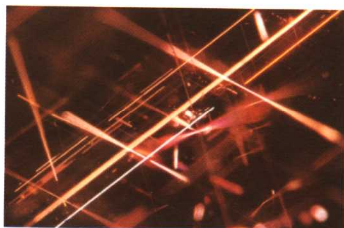


图3-1-286 铁铝榴石中的针状金红石包体



图3-1-287 铁铝榴石中的针状包体和磷灰石包体

（三）锰铝榴石

锰铝榴石的主要化学成分为$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$，其中Mn^{2+}通常由Fe^{2+}部分取代，Al^{3+}常由Fe^{3+}取代。

宝石级锰铝榴石常见颜色有：棕红色、玫瑰红色、黄色、黄褐色等（见图3-1-288）。锰

铝榴石的密度为4.12～4.20g/cm³。锰铝榴石的折射率为1.790～1.814，使用普通的宝石折射仪难测。

锰铝榴石的特征吸收光谱为Mn^{2+}离子吸收，主要有430nm、420nm和410nm三条吸收线和460nm、480nm、520nm三条吸收带，有时可有504nm、573nm吸收线。但由于这些特征吸收谱均分布于分光镜的蓝区，背景较暗，有时观察起来会有一定困难。

锰铝榴石的包体可以是多种多样的，波浪状、浑圆状、不规则状晶体或液态包体（见图3-1-289）。由于内部有平行排列的针状包体，在锰铝榴石中可出现猫眼效应（见图3-1-290）。



图3-1-288 锰铝榴石

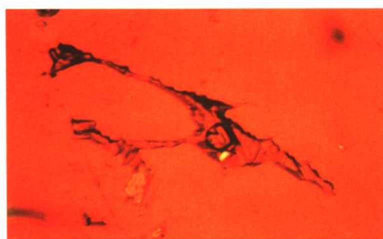


图3-1-289 锰铝榴石中的三相包体



图3-1-290 锰铝榴石猫眼及内部包体

（四）钙铝榴石

钙铝榴石是钙榴石类最常见的一种石榴石，其主要化学成分为$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$。如前所述，钙铝榴石系列石榴石的特点是三价阳离子容易形成类质同象代换。钙铝榴石和钙铁榴石就是一个完全的类质同象系列，即Al^{3+}和Fe^{3+}形成完全类质同象替代。当Al^{3+}离子数量大于Fe^{3+}离子时，称之为钙铝榴石。

钙铝榴石的颜色多种多样，主要有绿色、黄绿色、黄色、褐红色及乳白色等（见图3-1-291）。钙铝榴石的密度为3.57～3.73g/cm³。折射率为1.730～1.760。偶有猫眼效应（见图3-1-292）。钙铝榴石通常没有特征的吸收光谱，但当钙铝榴石中含有铁铝榴石成分时，也可以显示弱的铁铝榴石的吸收谱特征。可见407nm、430nm的两条吸收带。

钙铝榴石内部常见短柱状或浑圆状晶体包体、热浪效应（见图3-1-293）。



图3-1-291 钙铝榴石



图3-1-292 钙铝榴石猫眼及内部包体

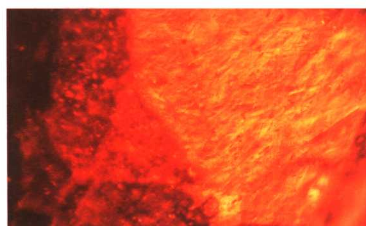


图3-1-293 钙铝榴石中的热浪效应

当钙铝榴石中的Ca^{2+}被Fe^{2+}取代时，称为铁钙铝榴石，即$(Ca,Fe)_3Al_2(SiO_4)_3$，又称为桂榴石。桂榴石的颜色为褐黄色、酒黄色，由Fe^{3+}所致。透明度为透明。而其他的宝石学特征与钙铝榴石相同，铁钙铝榴石常见包裹有锆石、磷灰石和“热浪效应”。

当钙铝榴石中含有Cr、V时称为铬钒钙铝榴石（见图3-1-294），绿色，折射率为1.73～1.75。



图3-1-294 铬钒钙铝榴石

（五）钙铁榴石

主要化学成分为$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$，其中Ca^{2+}常被Mg^{2+}和Mn^{2+}置换，Fe^{3+}常被Al^{3+}取代，当部分Fe^{3+}被Cr^{3+}置换时，即为翠榴石。含Ti较多的黑色钙铁榴石称为黑榴石。

宝石级钙铁榴石常见颜色有：黄色、绿色、褐色、黑色。钙铁榴石的密度为3.81～3.87g/cm^3，折射率为1.855～1.895。



图 3-1-295 翠榴石内部的马尾状包体

钙铁榴石与其他石榴石相同，可以包裹许多矿物包体，但实际上内部洁净者也是十分常见的。产于俄罗斯乌拉尔山翠榴石具有非常特征的马尾状包体，马尾即由纤维状石棉构成（见图3-1-295）。这也是全球宝石级翠榴石的最主要的产地。翠榴石另外一个鉴定特征是在查尔斯滤色镜下表现为红色。

翠榴石的实测密度值为3.81～3.87g/cm^3，实测折射率为1.888～1.889。翠榴石的色散值比钻石还高，为0.057，看上去"火"很强，但常常被其自身的颜色所掩盖。翠榴石可以具有变色效应，日光下呈绿黄色，白炽灯下呈橙红色。

翠榴石具Cr^{3+}的吸收谱，在红区634nm、618nm处有两条清晰的吸收线，690nm 、685nm处还有弱吸收线，440nm处可见吸收带或440nm以下全吸收。

（六）钙铬榴石

钙铬榴石的主要化学成分为$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$，其中的Cr^{3+}通常被少量的Fe^{3+}置换，因此，钙铬榴石是一种与翠榴石相似的品种。

钙铬榴石的颜色为鲜艳绿色、蓝绿色，常被称为祖母绿色石榴石。密度为3.72～3.78g/cm^3，折射率为1.82～1.88。

（七）水钙铝榴石

水钙铝榴石的主要化学成分为$Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(OH)_{4x}$。其中$OH^-$阴离子的加入使其主要成分略有变化，$OH^-$进入晶格越多，硅氧四面体就越少。此外，还有少量的$Mg^{2+}$、$Fe^{2+}$取代$Ca^{2+}$，少量的$Cr^{3+}$取代$Al^{3+}$。

宝石级水钙铝榴石的颜色以绿色为主，亦有少量蓝绿色、白色、无色和粉色品种（见图3-1-296、图3-1-297）。密度值为3.15～3.55g/cm^3。折射率值为1.720(＋0.010，－0.050)。暗绿色品种460nm以下全吸收，其他颜色463nm附近吸收（因含符山石）。水钙铝榴石在查尔斯滤色镜下为特征的粉红—红色。水钙铝榴石常常包裹黑色的铬铁矿，这种黑色的斑点也是鉴定水钙铝榴石的重要特征（见图3-1-298）。



图 3-1-296 绿色水钙铝榴石



图 3-1-297 粉红色水钙铝榴石



图 3-1-298 水钙铝榴石中的黑色包体

三、石榴石的优化处理

目前针对石榴石进行的优化处理相对较少，主要有热处理和扩散两种优化处理方法。其目的是改善石榴石的颜色，经过优化处理后石榴石的颜色可以由浅黄色变为橘黄色、绿色。

对镁铝榴石、铁铝－锰铝榴石、钙铝榴石、翠榴石进行热处理后，镁铝榴石、铁铝－锰铝榴石表面光泽发生改变，由玻璃至亚金刚光泽变为金属光泽；钙铝榴颜色发生改变，由浅黄色变为橘黄色；翠榴石的颜色和透明度得到改善，马尾状包体出现轻微溶蚀。

对浅黄色的钙铝榴石进行扩散处理后，其颜色发生改变：Fe 和 Cr 扩散产生橘黄色；Co 扩散出现绿色。扩散处理后的颜色仅存在于石榴石表面，如果重新切磨或抛光，扩散的颜色将被破坏。

四、石榴石的鉴定方法及其与相似宝石的鉴别

（一）石榴石的鉴定方法

对于石榴石来说，常规的鉴定方法主要是测定折射率值、密度值，观察其吸收光谱和内部的特征包体等，表 3-1-29 中列出的主要石榴石品种的上述鉴定特征。

表 3-1-29 石榴石宝石鉴定特征

品种	颜 色	n	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	吸收光谱	包体特征
镁铝榴石	中至深橙红色、红色				针状包体、不规则和浑圆状晶体包体
铁铝榴石	橙红至红色、紫红至红紫				粗针状包体、锆石晶体包体等
锰铝榴石	橙色至橙红色				波浪状、不规则状和浑圆状晶体包体
钙铝榴石	浅至深绿、浅至深黄、橙红、无色				短柱状或浑圆状晶体包体、热浪效应
钙铁榴石 翠榴石	黄、绿、褐黑				马尾状包体
钙铬榴石	绿			未知	未知
水钙铝榴石	绿至蓝绿色、粉色、白色				黑色点状包体

对于已镶嵌的石榴石，精确测定折射率值，准确观察其特征吸收谱及内部包体更是鉴定石榴石的关键。

石榴石的常规宝石学鉴定并不难，而比较困难的是品种的鉴定。由于石榴石存在广泛的类质同象替代，在实际测试当中，一些关键的数值并非理想的理论值，而是介于几个品种之间的过渡值，很难判断其具体的品种归属。针对这种情况在实际鉴定中一般采取两种方法：

1）对于满足一般要求的鉴定，可以不具体确定其品种而统称为石榴石。

2）如果一定要确定其品种，通常是采用红外光谱及成分分析等无损检测手段，进行详细的矿物学鉴定。

（二）石榴石与相似的宝石鉴别

1. 红色系列

与红色色调的石榴石相似的宝石有：粉红尖晶石、红色碧玺、红宝石、红色锆石等。其中，红色—紫红色的镁铝榴石易与红尖晶石、红碧玺、红锆石相混，区别它们的主要方法是测定折射率。当镁铝榴石的折射率在1.72左右时，可以通过观察其在长波下有无荧光来与红色尖晶石区分。红色的镁铝榴石无荧光而红色尖晶石可具弱红色荧光。红色的铁铝榴石易与红宝石相混，区分二者的主要方法为观察二色性、特征吸收谱及紫外荧光等特征，以及测定其折射率值等。红色铁铝榴石为均质体，不具二色性，具有特征Fe^{2+}的吸收，紫外灯下无荧光，为单折射。而红宝石为非均质体，为双折射，具明显的二色性和特征Cr^{3+}吸收谱，紫外灯下常具有荧光。

2. 黄色系列

与黄色色调的石榴石相混的天然宝石品种有黄色锆石、黄色托帕石、黄色蓝宝石、黄色榍石、金绿宝石等。

黄色的锰铝榴石易与黄色锆石、黄色蓝宝石、黄色金绿宝石相混，主要区别是折射率值、密度值及多色性。石榴石为均质体，没有多色性，只可测到一个折射率值，而上述易混宝石均属非均质体，具明显的多色性及两个或两个以上不同的折射率值。

黄色的钙铝榴石还易与黄色的托帕石和黄色绿柱石等相混，一般只需精确测定其折射率值即可加以区分。

3. 绿色系列

与绿色色调的石榴石相混的天然宝石品种有绿色锆石、绿色榍石、铬透辉石、祖母绿、绿碧玺等。此外，绿色水钙铝榴石集合体还极易与翡翠相混。

与翠榴石相似的宝石主要是绿色锆石、榍石、铬透辉石及祖母绿。尽管它们在颜色上十分相似，但彼此之间的折射率、双折射率及其他光性特征却完全不同。绿色锆石和榍石的折射率比翠榴石高，具有明显的双折射现象。此外，翠榴石特有的“马尾状”包体以及在查尔斯滤色镜下的红色也是区别于上述宝石的重要特征。

易与绿色的钙铝榴石、铁铝榴石等相混的宝石品种还有橄榄石、绿碧玺、绿色绿柱石、绿色透辉石等。主要区别是钙铝榴石、铁铝榴石为均质体宝石，余下品种均为非均质体宝石。

水钙铝榴石常常被作为翡翠的仿制品，在我国水钙铝榴石还有如“青海翠”等许多易与翡翠相混淆的商品名称。特别是优质的水钙铝榴石呈鲜绿色，半透明状与上等翡翠外观极为

相似，稍不留意即会出差错。水钙铝榴石与翡翠的区别在折射率、密度、吸收谱等。前者的折射率常为1.72（点测法），密度为3.47g/cm³左右，红区无特征吸收线，在查尔斯滤色镜下呈红色，而翡翠的折射率值常为1.66（点测法），密度为3.33g/cm³左右，红区可见1～3条特征吸收线，天然翡翠在查尔斯滤色镜下不变红（部分染色翡翠除外）。此外，水钙铝榴石为粒状结构，而翡翠是典型的粒状—纤维交织结构。

五、石榴石的拼合及其鉴别

以石榴石为材料的拼合石是拼合宝石中最常见的一种。

石榴石拼合石通常是二层石，顶层为石榴石薄层，底层为玻璃，用来模仿各种天然的宝石。如以红色石榴石为顶、绿玻璃为底的拼合石用于模仿祖母绿，这种拼合石的鉴别方法是观察“红圈效应”，检查时需将拼合石亭尖朝上，置于白色背景上，用点光源照射，可见沿腰围内红色圈痕（见图3-1-299）；此外用高倍放大镜或显微镜沿拼合石亭部仔细观察，可见一个闭合的拼合线，拼合的胶质层内可见气泡，拼合上下两层颜色、折射率、包体特征通常不一致等（见图3-1-300、3-1-301）。



图3-1-299 红圈效应

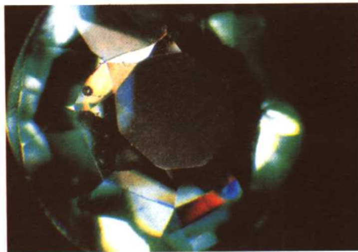


图3-1-300 拼合石榴石中的气泡

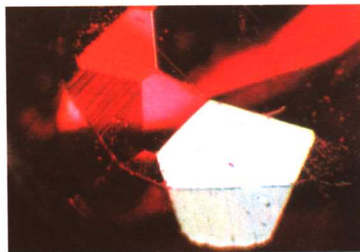


图3-1-301 拼合石榴石的光泽差异

六、石榴石的质量评价

石榴石宝石总体来说属中低档宝石，但其中翠榴石因颜色鲜艳、产地稀少、产量很低等原因，优质的翠榴石具有很高的价值，可跻身于高档宝石之列。

评价石榴石通常以其颜色、透明度、净度、质量以及切工等方面为依据，颜色浓艳、纯正，内部洁净、透明度高、颗粒大、切工完美者，具有较高的价值。

颜色是决定石榴石价值的首要因素。翠榴石或具翠绿色的其他石榴石品种在价格上要高于其他颜色的石榴石，优质的翠榴石的价格可接近甚至超过同样颜色祖母绿的价格。除绿色之外，橙黄色的锰铝榴石、红色的镁铝榴石和暗红色的铁铝榴石其价格是依次降低的。

此外，石榴石的质量大小、内部净度以及切工也是决定石榴石价格的重要因素。

七、石榴石的产状、产地简介

石榴石族矿物在地壳中产出普遍，它们可产于区域变质岩、接触变质带中，也可作为幔源包体产于各种超基性岩中。不同品种的宝石级石榴石产出特点略有差异，具体情况如下。

1. 镁铝榴石

镁铝榴石的成因：

1）金伯利岩的伴生矿物。

2）作为地幔岩包体的矿物组成之一，镁铝榴石还产于与金伯利岩、玄武岩相关的幔源包体之中。常见的岩石类型有橄榄岩、石榴石辉石橄榄岩、榴辉岩及这些岩类的蚀变产物蛇纹岩等。

镁铝榴石的主要产地有：美国亚利桑纳州，捷克的波西米亚等地。

2. 铁铝榴石

铁铝榴石主要产于片岩当中，为区域变质作用的产物。尽管铁铝榴石产出十分广泛，但能够达到宝石级的却十分有限。

铁铝榴石最著名的产地是印度，主要分布在Jaipur、Kishangarh等省的云母片岩中，这里也是星光铁铝榴石最主要的产地。星光铁铝榴石的产地还有美国爱达荷州。此外，斯里兰卡的Trineomalee、巴基斯坦西北部Swat峡谷、缅甸、泰国、澳大利亚、巴西、中国等地也都有宝石级铁铝榴石产出。

3. 锰铝榴石

锰铝榴石主要产于伟晶岩、花岗岩及锰矿床的围岩内，伟晶岩型的锰铝榴石通常可有很大的晶体，是宝石级锰铝榴石的主要来源。

锰铝榴石最早发现于德国巴伐利亚州，但最著名的产地是亚美尼亚的Rutherford矿区，以及美国弗吉尼亚州。

4. 钙铝榴石

钙铝榴石主要产于接触变质岩内，是矽卡岩早期的结晶矿物。铁钙铝榴石的主要产地有斯里兰卡，在那里铁钙铝榴石与其他的宝石品种如红、蓝宝石等共生。此外，在墨西哥、巴西、加拿大等也有宝石级钙铝榴石产出，在非洲东部的肯尼亚、坦桑尼亚以及我国的西南部三江地区等地还产出一种含Cr、V的钙铝榴石，称为铬钒钙铝榴石，是一种具有鲜艳绿色的品种。

5. 钙铁榴石

钙铁榴石是接触交代变质矿物，其中翠榴石产于超基性交代成因的蛇纹岩中。翠榴石作为宝石开采迄今为止仅有乌拉尔山一处。在扎伊尔、韩国及美国加利福尼亚州也有少量绿色翠榴石产出，但由于颗粒很小，只有少量达到宝石级，多数只具有矿物学意义。

6. 钙铬榴石

钙铬榴石一般颗粒很小，不易达到宝石级，而且产地也很少，主要产于俄罗斯乌拉尔地区（与翠榴石共生），法国、挪威等地也有产出。

7. 水钙铝榴石

水钙铝榴石是钙铝榴石的交代产物，主要产于接触变质岩中；绿色及红色水钙铝榴石的主要产地有南非、加拿大、美国、中国青海。此外，缅甸和我国也是无色水钙铝榴石的重要产地。

第七节　尖 晶 石

尖晶石是一种历史悠久的宝石品种，但在古代它一直被误认为红宝石。目前世界上最具有传奇色彩、最迷人的重361ct的“铁木尔红宝石”(Timur Ruby）和1660年被镶在英帝国国王王冠上重约170ct的“黑王子红宝石”(Black Prince's Ruby)，直到近代才鉴定出它们都是红色尖晶石。在我国清代一品官员帽子上用的红宝石顶子，几乎全是用红色尖晶石制成的。

一、尖晶石的基本性质

（一）矿物名称

尖晶石(Spinel)，在矿物学中属尖晶石族。

（二）化学成分

$MgAl_2O_4$，可含有Al、Cr、Fe、Zn、Mn等微量元素。这些微量元素可与Mg、Al发生完全或不完全类质同象替代。其中Mg^{2+}–Fe^{2+}、Mg^{2+}–Zn^{2+}、Al^{3+}–Cr^{3+}之间可发生完全类质同象替代。

（三）晶系及结晶习性

等轴晶系，常呈八面体晶形，有时八面体与菱形十二面体、立方体成聚形（见图3-1-302)。

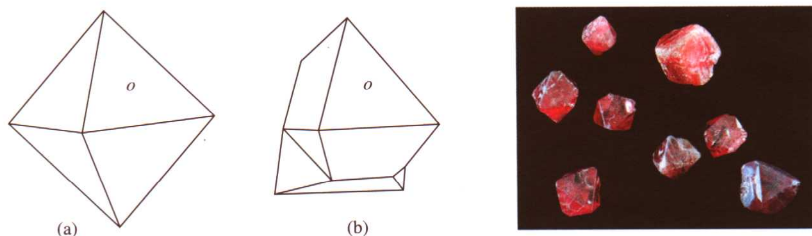


图3-1-302 尖晶石晶体

（四）光学性质

1. 颜色

尖晶石可有红色、橙红色、粉红色、紫红、无色、黄色、橙黄、褐色、蓝色、绿色、紫色等多种颜色（见图3-1-303)。

红色含Cr^{3+}，蓝色含Fe^{2+}，绿色含少量Fe^{2+}，含Zn^{2+}时常呈蓝色，褐色含Cr^{3+}、Fe^{3+}、Fe^{2+}。



图3-1-303 各种颜色尖晶石

2. 光泽与透明度

玻璃光泽至亚金刚光泽；透明至不透明。

3. 光性特征

均质体。

4. 折射率

1.718(＋0.017，－0.008)。锌尖晶石为1.805，铁尖晶石为1.835，铬尖晶石可高达2.00。无双折射率。

5. 多色性

无。

6. 发光性

红色、橙色、粉红色尖晶石　长波紫外光下，弱至强的红色、橙色荧光；短波紫外光下，无至弱的红色、橙色荧光。

黄色尖晶石　长波紫外光下，弱至中的褐黄色荧光；短波紫外光下，无至褐黄色荧光。

绿色尖晶石　长波紫外光下，无至中的橙—橙红色荧光。

无色尖晶石　无荧光。

7. 吸收光谱

红色、粉色的尖晶石是由Cr元素致色的，其吸收光谱在黄绿区有595～490nm强吸收带；红区有685nm、684nm强吸收线及656nm弱吸收带（见图3-1-304（a））。在荧光光谱中红色尖晶石红区的吸收线为亮荧光线，与红宝石的一组细线不同。尖晶石有10条以上亮荧光线，以686nm、675nm处的吸收线为最强。

蓝色、紫色尖晶石的致色元素为Fe或少量Co，其主要的吸收线在蓝区，460nm强吸收带，430～435nm、480nm、550nm、565～575nm、590nm、625nm为弱或极弱的吸收线或带。460nm吸收带为合成蓝色尖晶石中所没有的（见图3-1-304（b））。锌尖晶石的吸收光谱与蓝色尖晶石的吸收光谱相似，只是弱些。

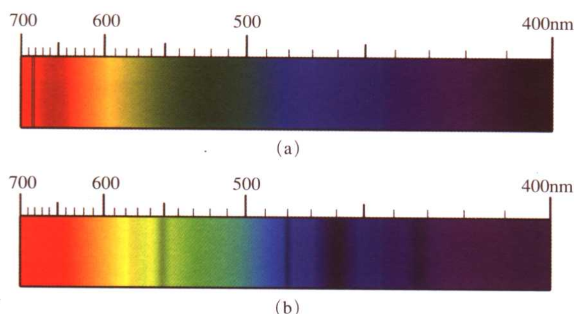


图3-1-304 尖晶石吸收光谱
(a) 红色尖晶石；(b) 蓝色尖晶石

（五）力学性质

1. 解理

尖晶石的解理不完全，常见贝壳状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为8。

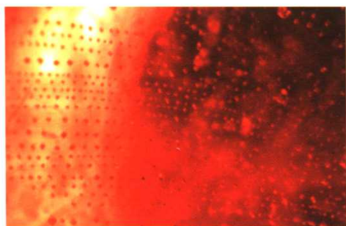
3. 密度

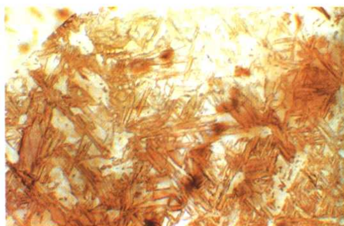
3.60 (+ 0.10，－ 0.03) g/cm^3。

（六）内外部显微特征

1. 固态包体

常见八面体尖晶石包体，单独、成行排列或呈指纹状分布（见图3-1-305）。有时见八面体负晶，其内局部被方解石、白云石充填，其次可见片状石墨、柱状磷灰石、石英等包体。在缅甸产的尖晶石中发现有细小雾状包体，刀片状榍石包体，密集时可形成星光效应（见图3-1-306）。


图 3-1-305 尖晶石中串珠状的八面体负晶


图 3-1-306 尖晶石内部定向排列的刀片状榍石

2. 液态包体

开放裂隙中常见液态包体。八面体晶体包体周围可有张力裂隙形成的指纹状包体。

斯里兰卡尖晶石内所含的锆石晶体包体外围有褐色斑点，这曾被认为是锆石的辐照斑点，新观点认为是由中间矿物晶体和主晶之间不均匀热膨胀产生的张性裂隙。

3. 生长现象

可见沿八面体晶面发育的生长带及双晶纹，在正交偏光下油浸观察最易观察。

（七）特殊光学效应

星光效应（四射星光、六射星光）稀少，变色效应。

二、尖晶石的品种及其鉴定特征

宝石学中常以颜色及特殊光学效应来划分尖晶石宝石的品种。常见品种有：

1. 橙色尖晶石

橙红色至橙色的尖晶石。

2. 红色尖晶石

各种色调的红色，其中中红色至深红色的尖晶石是普遍受欢迎的红色宝石品种，浅粉色至暗红色的尖晶石则与石榴石相像。

3. 蓝色尖晶石

蓝色至蓝绿色的尖晶石。

4. 无色尖晶石

天然无色的尖晶石多少带点粉色色调，纯净无色者稀少。

5. 绿色—黑色尖晶石

绿色尖晶石很稀少，一般富铁，颜色发暗。有的基本呈黑色，真正黑色的尖晶石在蒙特桑玛、泰国红蓝宝石矿中有发现。

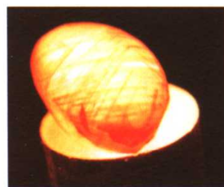
6. 变色尖晶石

日光下呈蓝色，白炽灯下呈紫色。

7. 星光尖晶石

暗棕红色、紫红色、中灰至黑色尖晶石内部可具有多组针状包体，使其具有四射或六射星光（图 3-1-307、图 3-1-308），主要发现于斯里兰卡。针状包体平行于八面体边棱方向分布时，可使尖晶石的八面体晶面方向形成六射星光，而八面体角顶方向形成四射星光。若加工成球形则能同时


图 3-1-307 星光尖晶石


图 3-1-308 星光尖晶石内部的针状包体

观察到8组六射星光及6组四射星光。

三、尖晶石与相似宝石、仿宝石的鉴别

尖晶石因其丰富的颜色，可与众多的宝石品种相似，特别是易与红宝石、蓝宝石、石榴石、绿柱石、锆石、玻璃、人造钇铝榴石等相混。

1. 尖晶石与刚玉宝石的鉴别

刚玉宝石中最易与尖晶石相混的是红宝石和蓝、蓝绿、绿、橙等色蓝宝石。刚玉宝石与尖晶石的鉴别见刚玉宝石一章。

2. 尖晶石与石榴石的鉴别

紫红色调至深红色的尖晶石，很像石榴石中的镁铝榴石。两者均为均质体，在偏光镜下均可呈现异常消光，无多色性，而且内部均可含有负晶或固体包体。鉴别时可从以下几方面区别：

1）红色的尖晶石折射率偏低（1.718），而石榴石的折射率一般在1.740以上。

2）两者的吸收光谱不同。

3）两者的荧光不同，石榴石在紫外光下一般无荧光，查尔斯滤色镜下无反应；而红色尖晶石一般有弱至强的红色或橙色荧光，查尔斯滤色镜下呈红色。

4）两者的密度不同，尖晶石仅3.60g/cm^{3}左右，而石榴石密度稍大。

5）尖晶石内部常见八面体形的包体，单个或成排排列，而石榴石中的固体包体常呈针状、浑圆粒状。

3. 尖晶石与绿柱石、锆石的鉴别

当绿柱石、锆石与绿色、黄色等其他颜色的尖晶石混于一起时，它们之间的区分容易些，用偏光镜检查即能分出属均质体的尖晶石。同时尖晶石与绿柱石和锆石，可通过测折射率或密度来区分，绿柱石的折射率偏低，密度也偏低；锆石折射率偏高，密度也较大（见表3-1-30）。

表3-1-30 尖晶石与绿柱石、锆石的区分

名称	n	双折射率	光性	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$
尖晶石	1.718（+ 0.017，－0.008）	无	均质体	3.60（+ 0.10，－0.03）
绿柱石	1.577～1.583（± 0.017）	0.005～0.009	一轴晶（－）	2.72（+ 0.18，－0.05）
锆石	1.984～1.810	0.001～0.059	一轴晶（+）	3.90～4.73

4. 尖晶石与玻璃的鉴别

玻璃可以有各种颜色，为均质体，与尖晶石很易混淆。玻璃的折射率、密度、吸收光谱及色散的变化范围均较大，其内部洁净，可见气泡和流动构造，表面磨损通常较严重。

四、合成尖晶石及其鉴别

1908年L.帕里斯在用焰熔法合成蓝宝石的过程中，使用Co_2O_3作致色剂、MgO作熔剂，偶然得到了合成尖晶石。合成尖晶石一般是用来作为其他宝石的仿制品，但随着天然红色、蓝色尖晶石价格的不断升高，合成尖晶石也用来冒充天然尖晶石。

合成尖晶石的鉴定特征如下：

1. 焰熔法合成尖晶石

焰熔法合成尖晶石的颜色有红、粉、黄绿、绿、浅至深蓝色、无色等，也可合成具变色效应的尖晶石。合成尖晶石主要特征为具有较高折射率、异常双折射、内部弧形生长纹和偏光镜下不均匀的栅格状异常消光现象。

（1）折射率

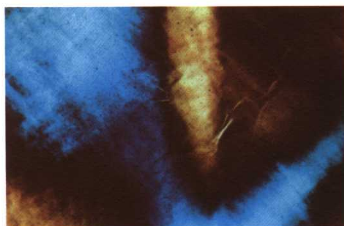
焰熔法合成尖晶石的折射率比天然尖晶石的略高。一般为1.728（+0.012，-0.008），合成红色尖晶石为1.722～1.725，合成变色尖晶石为1.73。

（2）密度

一般为3.52～3.66g/cm³，比天然尖晶石密度（3.60g/cm³）略高。合成红色尖晶石为3.60～3.66g/cm³。

（3）光性特征

焰熔法合成尖晶石中过多的氧化铝（比理论值高2.5倍）使其晶格多发生扭曲，而产生异常的消光现象。偏光镜下合成尖晶石消光不均匀，常呈栅格状或斑纹状异常消光，这是天然品所没有的（见图3-1-309）。


图3-1-309 蓝色焰熔法合成尖晶石在正交偏光下显示出的异常消光

（4）紫外荧光

焰熔法合成尖晶石在长、短波紫外线下均有荧光，而且在短波下常呈白垩状荧光，天然尖晶石中没有这种现象。一般不同颜色合成尖晶石在紫外线下特别是短波紫外线下呈现不同荧光，如浅粉色尖晶石呈绿白色，红色尖晶石呈红色，浅蓝尖晶石呈橙红色（长波下呈红色），浅蓝绿尖晶石呈强黄色，黄绿色尖晶石呈绿白色，无色尖晶石呈蓝白色荧光。

（5）吸收光谱

红色的合成尖晶石与天然尖晶石的吸收光谱相同，只是在686nm见一细荧光线。其他品种合成尖晶石的吸收光谱特征如下：

1）钴蓝色　在红区和蓝区全透过，在544nm、575nm、595nm和622nm有宽吸收带，而缺失天然蓝色尖晶石中的458nm吸收线。

2）绿色（带黄色荧光）　425nm为强吸收线，445nm为模糊带。

3）绿蓝色　有425nm强吸收线，443nm模糊带，及复杂的544nm、575nm、595nm、622nm极弱的钴吸收。

4）合成变色尖晶石　400～480nm宽吸收带，480～520nm透过带，580nm为中心的宽吸收带，及685nm窄线。

（6）内部特征

通常内部洁净，偶尔可见到以下特征：

1）气泡　可呈串珠状或异型气泡，也常见平行排列的长软管状气态包体（见图3-1-310）。

2）弧形生长纹　与维尔纳叶法生产合成红宝石中紧密排列的弧形生长纹不同，红色合成尖晶石中的弧形生长纹呈宽的弯曲色带。蓝色合成尖晶石也曾见到这种现象，其他颜色很少见。

3）氧化铝固体包体　可能有氧化铝的未熔残余物。


图3-1-310 焰熔法合成尖晶石中的气泡

4）色斑 在正交偏光下观察可见染色剂斑点。

5）仿月光石的合成尖晶石在其底部有一种镜面反射效果，是由过多的氧化铝未熔粉末所形成的无数细针状包体造成的。有时甚至可以产生星光效应。

2. 助熔剂法合成尖晶石

助熔剂法合成尖晶石于20世纪80年代进入市场，常见红色和蓝色，其次有浅褐黄、粉、绿等色，有些颜色为天然尖晶石所没有的。

助熔剂法合成尖晶石在化学成分上与天然尖晶石相近，$MgO:Al_2O_3$比例接近1∶1，折射率、密度等一些物理性质常数也与天然尖晶石相近。



图3-1-311 助熔剂法合成尖晶石中的助熔剂残余

助熔剂法合成尖晶石与天然尖晶石的区别（见表3-1-31），它们主要表现在内部包体特征、吸收光谱、荧光特征的差异。

表3-1-31 助熔剂法合成尖晶石与天然尖晶石的区别

特征＼种类	助熔剂法合成尖晶石	天然尖晶石
成分	红色尖晶石：Cr、Fe，微量元素Ni、V、Zn、Ga、Pb，$w(Zn)< 0.21\%$ 蓝色尖晶石：Co、Fe，$w(Co)> w(Fe)$，微量元素：V、Cr、Mn、Pb、Ni、Zn、Ga	无Pb、Cr、Fe含量随产地而变化，$w(Zn)>0.95\%$ 蓝色尖晶石：Fe、Zn、Ga，微量元素Ni、V、Cr、Mn、Cu
紫外荧光	红色尖晶石：长波下，强，紫红色至浅橙红色；短波下，中—强，浅橙红色 蓝色尖晶石（Co致色）：长波下，弱至中，红至紫红，白垩状；短波下，强于长波	红色尖晶石：长波：弱至强，红色至橙色；短波：无至弱，红色至橙红色 蓝色尖晶石（Fe致色）：无 （Co致色）：长波下，弱至中，红色；短波下，无
内部特征	棕橙色至黑色助熔剂残余，单独或呈指纹状分布（见图3-1-311），铂金片	八面体负晶单独或呈指纹状分布，含磷灰石或白云石等固体包体
吸收光谱	红色尖晶石与天然缅甸红色尖晶石相近 蓝色尖晶石（Co致色）：500～650nm强吸收，无低于500nm的铁吸收带	蓝色尖晶石：500～600nm之间具吸收带，低于500nm有弱的铁吸收带，低于400nm具铁吸收

五、尖晶石的质量评价

尖晶石的质量评价主要是从颜色、透明度、净度及切工等方面来进行的。其中颜色最为重要，以红色最佳，其次为紫红、橙红、浅红色和蓝色，要求色泽纯正、鲜艳。其他颜色的尖晶石一般颜色发灰，色不正，价格都不高。

尖晶石的透明度影响颜色和光泽，同时受其净度影响。尖晶石的净度一般以包体少为佳。包体多或是晶体结构的强烈变形，都会影响尖晶石的透明度。透明度越高，则质量越好。

尖晶石切工也是影响其价格的一个因素。优质尖晶石常以刻面型切工出现，而且要求切磨比例正确，以祖母绿型切工为佳。但市场上常见的尖晶石，一般质量较低，颗粒较小，为

保重常导致切工比例失调，其价格也不会太高。

优质的尖晶石要求颜色好、透明度高、净度好、切工比例及抛光修饰程度好。

六、尖晶石的产状、产地简介

尖晶石常产于片岩、蛇纹岩及相关岩石中，大多宝石级尖晶石发现于冲积扇中。尖晶石主要产地有缅甸抹谷、斯里兰卡、肯尼亚、尼日利亚、坦桑尼亚以及巴基斯坦、越南、美国和阿富汗等。

第八节 绿 柱 石

绿柱石类宝石是指以矿物绿柱石为原料的一类宝石的总称，由于绿柱石的形成条件不同，致使其中所含的致色离子不同而呈现不同的颜色。绿柱石类宝石中除祖母绿外，最为珍贵的是海蓝宝石。海蓝宝石以其淡雅、优美的天蓝色赢得了人们的喜爱，宝石界也将其定为三月份的生辰石。

一、绿柱石的基本性质

（一）矿物名称

绿柱石（Beryl），在矿物学上属绿柱石族。

（二）化学组成

绿柱石为铍铝硅酸盐矿物，基本化学式为$Be_3Al_2(Si_2O_6)_3$，其中Be、Al可被不同元素所替代。根据替代特征的不同，绿柱石分成两种，其一为“八面体型”绿柱石，即类质同象主要发生在Al-O八面体中，Al被少量的Fe^{2+}、Mg^{2+}、Mn^{2+}、Fe^{3+}、V^{3+}、Cr^{3+}、Ti^{4+}等阳离子替代；另一种为“四面体型”绿柱石，即类质同象替代主要发生于Be-O四面体中，Be^{2+}主要被Li^{+}等阳离子替代，为平衡电价，在替代过程中总有少量的碱性金属离子，如Na^{+}、Cs^{+}、Rb^{+}、K^{+}等进入绿柱石晶格。

晶体结构中Si-O四面体组成六方环，环面垂直Z轴平行排列，上下两个环错动25°，由Al^{3+}以八面体、Be^{2+}以四面体的形式连接，形成平行Z轴的长六方柱状的空道。可以容纳大半径的阳离子，如Na^{+}、K^{+}、Cs^{+}、Rb^{+}等及H_2O分子。

（三）晶系与结晶习性

晶系　六方晶系。

结晶习性　六方柱状晶体，富含碱性金属离子的晶体呈六方短柱状。柱面发育有平行于Z轴的纵纹，不含碱金属的比富含碱金属的绿柱石柱面条纹明显。有时晶体发育有六方双锥面。

（四）光学性质

1. 颜色

常见有无色、绿色、黄色、浅橙色、粉色、红色、蓝色、棕色、黑色。

2. 光泽与透明度

玻璃光泽，断口表面为玻璃光泽至树脂光泽。多为透明，少量可呈半透明至不透明。

3. 光性特征

一轴晶，负光性。

4. 折射率、双折射率与色散

折射率为 1.577～1.583(± 0.017)。

双折射率为 0.005～0.009，一般为 0.006。色散为 0.014。

5. 多色性

因颜色而异。

海蓝宝石　弱至中，蓝和蓝绿色或不同色调的蓝色。

金黄色绿柱石　弱，绿黄色和黄色或不同程度的黄色。

粉色绿柱石　弱至中，浅红和紫红。

Maxixe 蓝色绿柱石　弱至中，蓝和浅蓝。

6. 发光性

紫外荧光通常弱。无色绿柱石可呈无至弱黄或粉色荧光，黄色、绿色绿柱石一般无荧光，粉色绿柱石可呈无至弱粉或紫色荧光。

X 荧光　粉色绿柱石可呈强橙红色，无色绿柱石可呈无至暗黄或暗粉色。

7. 查尔斯滤色镜检查

一般无反应。

8. 吸收光谱

吸收光谱一般不特征，通常见无或弱的铁吸收。海蓝宝石在紫区可具 427nm 强吸收带，在 537nm、456nm 处有一模糊吸收带，依颜色变深而变强。深黄色的绿柱石在蓝区可具一条模糊的吸收带。Maxixe蓝色绿柱石具695nm、655nm强吸收带，628nm、615nm、581nm、550nm 弱吸收带，可有 688nm、624nm、587nm、 560nm 处的吸收带。

（五）力学性质

1. 解理

一组{0001}不完全解理，断口贝壳状至参差状。

2. 硬度

摩氏硬度为 7.5～8。

3. 密度

2.72(＋ 0.18， － 0.05)g/cm^3。

（六）内外部显微特征

不同的颜色变种，其内部特征有所不同。常见的有平行排列的管状包体，其延长方向与柱面平行，可呈空管，或有液体充填而显棕色。有些绿柱石中含有负晶，负晶内可包有气泡，或气液两相包体。

（七）特殊光学效应

可具猫眼效应、星光效应（稀少）。

猫眼效应：多种颜色的绿柱石可以产生猫眼效应，常呈半透明状，猫眼效应一般较弱，多发生于海蓝宝石和粉色绿柱石中，也有橙色和黄色的绿柱石猫眼。

星光效应：褐黑色的绿柱石，可见有星光效应。其体色应为浅绿色，但因内部含絮状的

钛铁矿包体，而使颜色变成了褐黑色。其内部平行底面具薄层状结构，每层都像一面镜子，从而具有一种铜镜似的反光效应。这种褐黑色的绿柱石无荧光，也无特征吸收。它首先发现于巴西米纳斯吉拉斯的地区，据报道莫扎比克还发现有黑色的星光绿柱石。

二、绿柱石的品种及其鉴定特征

绿柱石颜色很丰富，可从无色一直到褐色，具有不同程度的颜色、饱和度和明亮度。常见的主要品种有海蓝宝石、绿色绿柱石、黄色绿柱石、粉色绿柱石等等。

1. 海蓝宝石

指浅蓝色、绿蓝色至蓝绿色的绿柱石，其蓝绿色是由Fe^{2+}致色而成。一般情况下颜色较浅，市场上出现的深色海蓝宝石多是由黄色绿柱石热处理而成。海蓝宝石密度为2.67～2.90g/cm^3，折射率1.577～1.583(±0.017)，双折射率为0.005～0.009。二色性表现为弱—中蓝色或蓝绿色或不同深浅的蓝色（浅颜色方向为Z轴方向）；无荧光；可具猫眼效应。内部常含有液相、气液两相或气液固三相包体及平行于Z轴方向排列的管状包体，有时呈断断续续的“雨丝状”（见图3-1-312）。

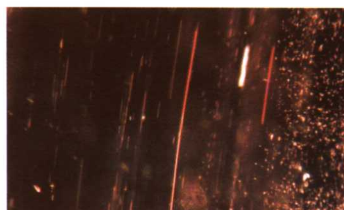


图3-1-312 海蓝宝石中“雨丝”状包体

2. 绿色绿柱石

为浅至中黄绿色、蓝绿色、绿色绿柱石，其致色元素为铁，无铬元素。由于可见光吸收光谱中无铬吸收谱线，而且色浅，饱和度低，或带黄色调而不能称为祖母绿。

3. 黄色绿柱石

也称为金色绿柱石（Heliodor），颜色有绿黄色、橙色、黄棕色、黄褐色、金黄色、淡柠檬黄色，其英文名称来源于希腊语的“太阳”。其颜色为铁致色，其物理化学性质与海蓝宝石的差别不大，因含铁而无荧光，深黄色的绿柱石在蓝区有一模糊的吸收带。有些金黄色的绿柱石具猫眼效应。

4. 粉色绿柱石

亦称为摩根石，颜色有粉红色、浅橙红色到浅紫红色、玫瑰色、桃红色。英文名称为Morganite，是以美国著名的金融家J.Pierpont Morgan来命名的。摩根石是由Mn致色的，常有少量的稀有金属铯和铷替代，使其密度和折射率偏高。密度可达2.80～2.90g/cm^3，折射率n_o=1.560～1.578，n_e=1.572～1.592，双折射率为0.008～0.009。有些粉色绿柱石具较低的密度，其折射率仅比海蓝宝石高出一点，某些近于无色但富含铯的绿柱石也有较高的密度和折射率。摩根石的二色性很明显，为浅粉色和深些的蓝粉色；无特征的可见光吸收光谱；紫外光下呈弱淡紫红色。X光下具强荧光，但不太亮，呈深红色。

5. 红色绿柱石

美国犹他州托马斯山，产有一种红色绿柱石，称为Bixbite，其颜色为深粉红色至暗的浅褐色（见图3-1-313）。红色绿柱石与上述粉色绿柱石的一个重要区别是它们在化学成分上的差异。红色绿柱石的碱金属含量很低，且不含水，而锰的含量则为0.08%，约为粉色绿柱石的20倍。折射率为1.580～1.600，密度为2.71～2.84g/cm^3。二色性较显著，为淡红和深蓝色。放大检查可见由气液包体所构成的愈合裂隙。



图3-1-313 美国的红色绿柱石

6. Maxixe 蓝色绿柱石

在巴西的米纳斯吉拉斯州（Minas Gerais）Arassauahy 南部产有一种深蓝色的绿柱石，称为 Maxixe 蓝色绿柱石。此宝石见光或遇热时会骤然褪色。该矿于 1917 年发现后，因褪色问题，不久就关闭了。直到 1972 年，这种绿柱石又一次出现在市场上，遂引起了世人的注意。据研究，其蓝色是因为色心致色，即晶体结构中的某种离子丢失，其空穴被电子占据而成的一种结构缺陷。占据空穴的电子可以自由移动，并吸收到宝石表面的某些光波。由于色心是由天然或人工放射性辐照所产生的，易受光和热的作用而破坏。现在市场上出现的Maxixe蓝色绿柱石，均为辐照产品。

三、绿柱石与相似宝石、仿宝石的鉴别

绿柱石是一个颜色丰富的宝石品种，与其相似的宝石品种很多。与海蓝宝石及其他绿柱石相似的人工宝石有合成尖晶石、合成蓝宝石、玻璃、人造钇铝榴石等。它们之间的区别主要在于偏光性、折射率、密度均不同，其常见的内部特征也不同。

1. 与海蓝宝石相似的宝石品种

市场上最为常见易与海蓝宝石相混的是蓝色托帕石（包括辐照处理的改色托帕石）。二者均为非均质体，折射率和双折射率相近，内部均有两相气液包体，肉眼观察时很容易混淆。但仔细检测就能区分。

（1）颜色

海蓝宝石的蓝色一般较浅，而且蓝色的感觉像天蓝、湖蓝，常有朦胧感，可带有黄色、绿色色调；而改色托帕石的蓝色一般较深，而且带些暗色调，比较清澈透明。

（2）折射率

海蓝宝石为 1.577～1.583，托帕石为 1.61～1.63。

（3）密度

海蓝宝石的密度为 2.72g/cm^3，低于托帕石的密度 3.53g/cm^3。

（4）包体

托帕石内部可有特征的两种互不相溶的液态包体，而海蓝宝石的特征内部包体为管状包体、雨丝状包体。

（5）吸收光谱

吸收光谱上也有不同，海蓝宝石的吸收虽不太明显，有时可见427nm强吸收线，456nm、537nm 处有模糊的吸收带。而托帕石及改色托帕石不见特征吸收。

（6）海蓝宝石滤色镜

有一种滤色镜，称为海蓝宝石滤色镜，它直接用于区分海蓝宝石和改色托帕石。强光照射下，透过此种滤色镜，海蓝宝石呈嫩绿色，托帕石呈灰蓝色。

2. 绿柱石与蓝宝石的鉴别

绿柱石类宝石的颜色总体上比天然和合成蓝宝石的颜色浅，饱和度低，但天然和合成的蓝宝石中也不乏与绿柱石相似的样品。如金黄色的蓝宝石与金色绿柱石，在外观上很相近，只是后者光泽稍弱些，很容易混淆。它们之间的区别主要在于折射率、密度、吸收光谱、内部特征等方面的不同。

3. 绿柱石类宝石与各色碧玺的鉴别

它们的区别主要在于两者的折射率、双折射率、密度。碧玺的折射率高于绿柱石类宝石，

为 1.620～1.640，双折射率也较高，为 0.020，还可见到后刻面棱线重影。

4. 绿柱石类宝石与各色尖晶石、石榴石的鉴别

绿柱石与尖晶石和石榴石的区别，主要在光性特征、折射率、密度及内部特征等方面。绿柱石类宝石为光性非均质体，而尖晶石和石榴石为光性均质体，而且它们的折射率、密度均高于绿柱石；尖晶石的内部可含有八面体的包体，呈单个或成排排列，石榴石视其品种可含有固体包体、针状包体等，它们的特征与绿柱石的内部特征不同，较容易区别。

5. 绿柱石类宝石与人工宝石的鉴别

合成尖晶石和玻璃、人造钇铝榴石经常用来模仿绿柱石类宝石，但它们均为均质体，且折射率与绿柱石类宝石不尽相同。合成尖晶石和人造钇铝榴石的折射率均高于绿柱石，分别为 1.725、1.833 左右，玻璃的折射率一般为 1.47～1.70 左右，稀土玻璃的折射率可高达 1.74 左右，且均为单折射。另外，玻璃、合成尖晶石等内部常见有气泡、搅动纹等。绿柱石类宝石一般无荧光，而人工宝石通常荧光较强。某些合成尖晶石和人造钇铝榴石、玻璃在查尔斯滤色镜下呈强红色。

四、绿柱石的优化处理及其鉴别

绿柱石类宝石常见的优化处理有热处理、辐照处理和覆膜处理等。

1. 热处理

绿柱石中含有 Fe^{2+}、Fe^{3+}，它们在绿柱石中有两种存在方式，其一是取代绿柱石中铝的位置，其二是存在于绿柱石结构的孔道中。第一种情况绿柱石将呈现黄色，并随三价铁含量增多，颜色从无色逐渐变成金黄色；第二种情况绿柱石呈现绿色和黄绿色，这种绿柱石可热处理成优质的海蓝宝石。此外摩根石可经热处理来去除黄色色调。由含铁和锰致色的橙黄色的绿柱石，可经热处理得到粉红色的绿柱石。

经热处理的绿柱石宝石不易鉴别，这种优化处理产生的颜色一般是稳定的，可被人们接受的。

2. 辐照处理

绿柱石经不同能量的射线辐照后，可以产生颜色的变化。常用的放射源有 X 射线、γ 射线及高、低能电子等。

辐照可使含少量 Fe^{2+} 的绿柱石的颜色产生变化，由无色变成黄色，蓝色变成绿色,粉红色变成橙黄色。国内对无色或绿色的绿柱石进行辐照处理后，得到了金黄色和蓝绿色的绿柱石，这些颜色对光是稳定的。其中特殊的一个类型称为 Maxixe 蓝色绿柱石。

Maxixe蓝色绿柱石：即经伽马射线或短波紫外线照射后，形成的深钴蓝色绿柱石。无色、暗蓝色、绿色、黄色、粉色的绿柱石在伽马射线的辐照下能变成钴蓝色，辐照时间的长短和绿柱石的类型决定了辐照后颜色的深度。伽马射线辐照处理的宝石无放射性，但其产生的钴蓝色不稳定，较温和的加热或光照就会使其褪色。

Maxixe 蓝色绿柱石具有以下特征：其颜色呈钴蓝色，有别于海蓝宝石的天蓝色；其可见光的吸收光谱是 695nm、655nm 强吸收带，628nm、615nm、58lnm、550nm 弱吸收带（也有资料报道为 688nm、624nm、587nm、560nm 处的吸收带）；观察二色性时，Maxixe 蓝色绿柱石的蓝色出现于 n_e 方向，n_o 方向大多呈无色，而海蓝宝石二色性的深色是在 n_o 方向。另外，Maxixe 蓝色绿柱石富含稀有金属 Cs [w (Cs) =2.8%] 和 B [w (B) =0.39%]，密度 为 2.80g/cm^3、折射率为 1.548～1.592，均高于一般的绿柱石。

3. 覆膜处理

将无色或浅淡颜色的绿柱石表面附着有色塑料涂层，以此来增加绿柱石的颜色。经过覆膜处理的绿柱石，放大检查有时可见部分薄膜脱落的现象（见图3-1-314）。

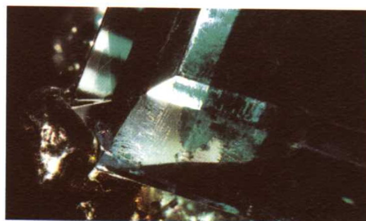


图3-1-314 部分薄膜脱落的覆膜绿柱石

五、合成绿柱石

合成绿柱石有化学气相沉积法、助熔剂法和水热法三种，目前以水热法为主。澳大利亚拜伦公司利用水热法合成了摩根石，而俄罗斯Tairus公司和莫斯科晶体研究所利用水热法合成出了红色、蓝色、紫色、黄色等绿柱石。这些绿柱石晶体的致色离子均为第四周期过渡金属元素Cr，Mn，Fe，Co，Cu，Ni，Ti等。

人工合成绿柱石在宝石学特征上因生长方法的不同和颜色品种的要求而各异。红色系列合成绿柱石以Co^{2+}、Mn^{2+}/Mn^{4+}、Ti^{3+}为主要致色离子，蓝色系列合成绿柱石Fe^{2+}/Fe^{3+}、Cu^{2+}为主要致色离子，绿色合成绿柱石则以Cr^{3+}、V^{3+}为主要致色离子，这和天然绿柱石有明显的区别。

在宝石学特征上，水热法生长的红色合成绿柱石的双折射率为0.006～0.008之间，n_e为1.571～1.574，n_o为1.576～1.583，均比日本化学气相沉积法彩色绿柱石的高，后者的n_e为1.562～1.563，n_o为1.566～1.571，双折射率为0.003～0.005，而密度上后者略高于水热法产品。此外，水热法合成绿柱石宝石有特征的飘纱状、钉状、针状等包体，这些特点和水热法合成祖母绿的特点一致，也是区别于天然绿柱石最有效的鉴定特征。

六、绿柱石的质量评价

绿柱石类宝石中除去祖母绿外，最为珍贵的是海蓝宝石、金色绿柱石、粉色绿柱石及具猫眼效应的绿柱石。绿柱石的质量评价从颜色、大小、净度及切工等方面来评价。颜色要求纯正、鲜艳、色浓；净度要求洁净、透明；切工要求比例准确、对称性好、抛光好。

七、绿柱石的产状、产地简介

海蓝宝石主要产于巴西、马达加斯加等国。巴西海蓝宝石和其他颜色的绿柱石矿主要位于米纳斯吉拉斯，产于伟晶岩中，与托帕石等共生。马达加斯加产有各种颜色的绿柱石。此外，在非洲国家肯尼亚、津巴布韦、尼日利亚、赞比亚等国，发现有颗粒虽小但颜色呈深蓝色的海蓝宝石，其原石最大不到5ct。

海蓝宝石的产地还有美国、缅甸、印度、坦桑尼亚、阿根廷、挪威、北爱尔兰等地。

纯粉色绿柱石产于巴西米纳斯吉拉斯及马达加斯加的Tsilaizina、Anjanabonoina、Ampangable，主要产于伟晶岩矿囊及其冲积矿中，摩根石最著名的产地是美国加州圣地亚哥Pala区的几个矿区。

金黄色绿柱石在海蓝宝石的矿山中均有发现，主要产于马达加斯加、巴西、纳米比亚。纳米比亚的金黄色绿柱石主要产于Fish河流域，与海蓝宝石和黄绿色绿柱石共生，有些黄色绿柱石因含有微量氧化铀而具有放射性。在巴西米纳斯吉拉斯发现一种深黄红色的绿柱石称为火绿柱石。

中国的海蓝宝石和其他绿柱石的产地主要在新疆、云南、内蒙古、海南、四川等地，其中以新疆、云南产的海蓝宝石最佳，还产有水胆海蓝宝石及绿色至黄色绿柱石猫眼。另外，新疆还有金色绿柱石和粉色绿柱石等。

第九节 长　石

长石的英文名称为Feldspar，由德文Feldspath演化而来。Spar是裂开的意思，刚好说明了长石具有完全解理的特性。长石族矿物品种繁多，凡色泽艳丽、透明度高、无裂纹、块度较大均可用做宝石，重要的长石宝石还有特殊光学效应，如：月光石、日光石和拉长石等。长石是无水架状结构硅酸盐矿物，长石族矿物产出于各类成因的岩石中，它大约占地壳重量的50%，为其体积的60%，是一种最重要的造岩矿物，在自然界中广泛存在。

一、长石的基本性质

（一）矿物名称

长石（Feldspar），在矿物学中属于长石族。

矿物学中将长石族分为：钾长石（碱性长石）、斜长石、钡长石三个亚族，与宝石学相关的主要是前两类。

（二）化学成分

长石矿物从成分上来看，重要为Na、Ca、K和Ba的铝硅酸盐。长石的一般化学式可以表示为$XAlSi_3O_8$，其中X为Na、Ca、K、Ba以及少量的Li、Rb、Cs、Sr等，它们为离子半径较大的一价或二价碱金属离子；Si可以被Al以及少量的B、Ge、Fe、Ti等替代，它们多为离子半径较小的四价或三价离子。

从化学观点看，大多数长石都包括在$KAlSi_3O_8$-$NaAlSi_3O_8$-$CaAl_2Si_2O_8$的三元系列中，即相当于由钾长石（Or）、钠长石（Ab）、钙长石（An）三种端员成分组成的混溶矿物，其中钾长石和钠长石在高温条件下形成完全类质同象，构成钾长石系列$KAlSi_3O_8$-$NaAlSi_3O_8$，钠长石和钙长石也能形成完全类质同象，构成斜长石系列$NaAlSi_3O_8$-$CaAl_2Si_2O_8$，而钾长石和钙长石几乎不能混溶（见图3-1-315、图3-1-316）。

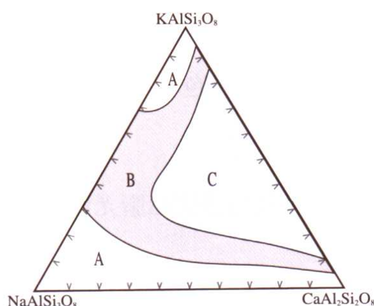


图3-1-315 Or－Ab－An系列混溶性

(a) 在任何温度下稳定；(b) 仅在高温下稳定；(c) 在任何温度下都不稳定

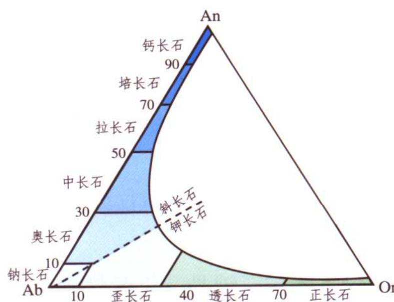


图3-1-316 钾长石、斜长石系列

钾长石系列，根据化学成分可分为正长石、透长石和微斜长石，以及歪长石（含$NaAlSi_3O_8$较高）。

斜长石系列，根据化学成分可分为钠长石、奥长石、中长石、拉长石、培长石、钙长

石（见表 3-1-32，图 3-1-316）。

表 3-1-32 斜长石的品种

斜长石品种名称	钠长石（Ab）分子含量 / %	钙长石（An）分子含量 / %
钠长石	100～90	0～10
奥长石	90～70	10～30
中长石	70～50	30～50
拉长石	50～30	50～70
培长石	30～10	70～90
钙长石	10～0	90～100

（三）晶系与结晶习性

正长石、透长石为单斜晶系，其他为三斜晶系。

长石通常呈板状、短柱状，双晶普遍发育，斜长石发育聚片双晶，钾长石发育卡氏双晶和格子状双晶（见图 3-1-317）。

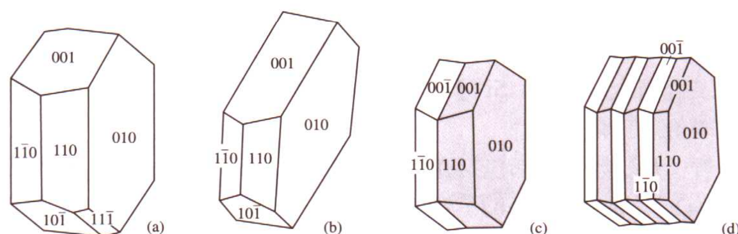


图 3-1-317 常见长石晶体及双晶
(a)、(b)单晶；(c)卡氏双晶；(d)聚片双晶

（四）光学性质

1. 颜色

长石通常呈无色至浅黄色、绿色、橙色、褐色等；长石的颜色与其中所含有的微量元素（如 Rb、Fe）、矿物包体及特殊光学效应有关。

2. 光泽及透明度

透明至不透明；抛光面呈玻璃光泽；断口呈玻璃至珍珠光泽或油脂光泽。

3. 光性特征

非均质体，二轴晶，正光性或负光性。钾长石一般为负光性；斜长石中的钠长石和拉长石为正光性，其他为正光性，也可以是负光性。

4. 折射率与双折射率

钾长石折射率为 1.518～1.533，双折射率为 0.005～0.007。

斜长石折射率为 1.529～1.588，双折射率为 0.007～0.013。

常见品种折射率及双折射率详见表 3-1-33。

5. 多色性

一般不明显，黄色正长石及带色的斜长石可显示不同的多色性。

6. 发光性

此外荧光灯下呈无至弱的白色、紫色、红色、黄色、粉红色、黄绿色、橙红色等颜色的荧光。

7. 吸收光谱

不特征。黄色正长石具420nm、448nm宽吸收带。

（五）力学性质

1. 解理及断口

长石具有两组夹角近90°的{001}和{010}完全解理，有时还可见不完全的第三组解理。长石断口多为不平坦状、阶梯状。

2. 硬度

摩氏硬度为6～6.5。

3. 密度

密度为2.55～2.75g/cm³（见表3-1-33）。

表3-1-33 不同类型长石宝石的密度、折射率、双折射率

性质＼类型	正长石	透长石	微斜长石	钠长石	拉长石	钙长石
$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	2.55～2.63	2.57～2.58	2.55～2.63	2.60～2.63	2.65～2.75	2.74～2.76
密度一般值	2.57	2.57	2.56	2.61	2.70	2.75
n	n_g=1.524～1.533 n_m=1.523～1.530 n_p=1.519～1.526	n_g=1.525～1.531 n_m=1.523～1.530 n_p=1.518～1.525	n_g=1.525～1.530 n_m=1.522～1.526 n_p=1.518～1.522	n_g=1.539～1.542 n_m=1.533～1.537 n_p=1.529～1.533	n_g=1.562～1.573 n_m=1.558～1.568 n_p=1.555～1.563	n_g=1.584～1.588 n_m=1.578～1.583 n_p=1.572～1.575
n(点测法)	1.52～1.53	1.52	1.53	1.53～1.54	1.55～1.56	1.57～1.58
双折射率	0.006～0.007	0.005～0.007	0.007	0.009～0.010	0.007～0.010	0.012～0.013

（六）内外部显微特征

放大检查时，在长石中可见到少量固态包体，聚片双晶，解理包体，双晶纹，气液包体，针状包体。

月光石 理解发育，可见两组解理近于垂直相交排列构成的“蜈蚣”状包体，指纹状包体，针状包体。

天河石 常见网格状色斑。

拉长石 常见双晶纹，可见针状或板状包体。

日光石 常见具有红色或金色的金属矿物板状包体。

（七）特殊光学效应

月光效应，晕彩效应，猫眼效应，砂金效应，星光效应。

二、长石的宝石品种及其鉴定特征

长石中重要的宝石品种有正长石中的月光石，微斜长石的绿色变种天河石，斜长石中的日光石、拉长石等。

（一）钾长石类宝石品种及其鉴定特征


图 3-1-318 钾长石

钾长石包括正长石、透长石、冰长石、微斜长石、歪长石等。除微斜长石、歪长石属三斜晶系外，其余均为单斜晶系。颜色有肉红、浅红、玫瑰红、灰白、白、黄、绿、淡褐色以及无色。

钾长石类宝石（见图3-1-318）共同的鉴定特征有：折射率、密度稍低于斜长石，一般分别为1.52～1.53（点测），2.57g/cm³。

1. 月光石

又称“月长石”、“月亮石”。在古代，世界上很多国家的人们认为佩戴月光石能给人带来好运，并能唤醒心上人的温柔感情，给人以力量，憧憬美好的未来。月光石与珍珠、变石一起视为六月生辰石，象征健康、富贵和长寿。


图 3-1-319 橙色、蓝色月光石

月光石是正长石（$KAlSi_3O_8$）和钠长石（$NaAlSi_3O_8$）两种成分层状交互的宝石矿物。通常呈无色至白色，还有红棕色、绿色、暗褐色，透明或半透明，常见蓝色、无色或黄色等晕彩，具有特征的月光效应（见图3-1-319）。

月光效应：随着样品的转动，在某一角度，可以见到白至蓝色的发光效应，看似朦胧月光。这是由于正长石中出溶有钠长石，钠长石在正长石晶体内定向分布，两种长石的层状隐晶平行相互交生，折射率稍有差异对可见光发生散射，当有解理面存在时，可伴有干涉或衍射，长石对光的综合作用使长石表面产生一种蓝色的浮光。如果层较厚，产生灰白色，浮光效果要差些。


图 3-1-320 月光石中的“蜈蚣状”包体

月光石的密度：2.55～2.61g/cm³，折射率：1.518～1.526（±0.010），双折射率：0.005～0.008。印度月光石的密度比其他产地的高，为2.58～2.59g/cm³，而斯里兰卡月光石的密度较低，接近于2.56g/cm³，摩氏硬度为6，折射率为1.520～1.525，双折射率为0.005，点测法折射率约为1.52；无特征吸收光谱；在长波紫外光下呈弱蓝色的荧光，短波下呈弱橙红色的荧光；X光下呈白色至紫色。月光石的内部包体一般比较特征（见图3-1-320）。特别是在斯里兰卡的样品中，具平行于晶轴的平直裂理，大多裂理沿*Y*轴方向发育，以成对或多个一组短距离地排列，在垂直方向扭曲，形成“蜈蚣状”包体。另一种裂理是以空洞或负晶形式出现的裂理。缅甸有些月光石内含有针状包体，这些针状包体有可能形成猫眼效应。

月光石可具猫眼效应或星光效应，但很少见。

2. 正长石

正长石的化学成分为$KAlSi_3O_8$，但是很少有纯净的组分，在其中总有数量不等的$NaAlSi_3O_8$组分出现（可达20%，最高50%）。正长石常见颜色为浅黄色至金黄色，富含铁元素而致色。刻面宝石最大可达两千多克拉。主要产于马达加斯加的伟晶岩中，缅甸产的正长石还可具猫眼效应。

正长石密度2.57g/cm³，折射率为n_g=1.524～1.533，n_m=1.523～1.530，n_p=1.519～1.526，点测1.52～1.53，双折射率为0.006～0.007，在蓝区和紫区具铁吸收光谱，在420nm处强吸收带，448nm处为弱吸收带。依据紫外可见光分光光度计，可以看到近紫外区具375nm强吸收带。长、短波紫外光下均呈弱橙红色荧光，在X光下发强的橙红色。

3. 冰长石

冰长石为钾长石的低温变种，化学成分为$KAlSi_3O_8$，其中Na的含量比一般钾长石低，属于三斜或者单斜晶系。单晶体以{110}发育，呈平行Z轴的柱状，横切面为菱形。通常无色，有时乳白色，透明。已有刻面型和弧面型宝石出现，但是很少。

冰长石硬度6～6.5，密度2.55～2.63g/cm³，一般2.56g/cm³，折射率n_g=1.524～1.526，n_m=1.522～1.524，n_p=1.518～1.520，双折射率0.006，二轴晶，负光性。

4. 透长石

透长石化学成分为$KAlSi_3O_8$，其中常含有较多的$NaAlSi_3O_8$，最高达60%，为钾长石中稀有品种，常见颜色有无色、粉褐色，呈透明或半透明。

5. 天河石

天河石又称“亚马逊石”，英文Amazonite的音译。天河石是微斜长石中呈绿色至蓝绿色的变种（见图3-1-321），成分和微斜长石一样为$KAlSi_3O_8$，含有Rb和Cs，一般Rb_2O的含量为1.4%～3.3%，Cs_2O为0.4%～0.6%。其颜色有一种说法是含Rb致色，也有人认为是其中含有微量的Pb，取代结构中的K，引起结构上的缺陷，因而产生色心，才导致呈色的。透明至半透明，常含有斜长石的聚片双晶或穿插双晶，而呈绿色和白色格子状、条纹状或斑纹状，并可见解理面的闪光。



图3-1-321 天河石

天河石的密度为2.56(±0.02)g/cm³，二轴晶负光性，折射率为1.522～1.530(±0.004)(比正长石的稍高)，双折射率为0.008（通常不可测）。无特征吸收光谱，长波紫外光下呈黄绿色荧光，短波下无反应，X光长时间照射后呈弱绿色。

（二）斜长石类宝石品种及其鉴定特征

斜长石矿物均属三斜晶系，单晶体常为板状或短柱状，有两组斜交的完全解理（交角86°24′），故名斜长石。常见聚片双晶，透明至半透明，颜色为白至暗灰色，有的呈绿、肉红色（见图3-1-322）。

斜长石宝石共同的特征有：均为三斜晶系，常呈块状，常发育有聚片双晶等，在底面解理面上可见重复的双晶纹，密度和折射率、光性符号都随着成分的变化而有所改变。密度从钠长石的2.60g/cm³到钙长石的2.76g/cm³，折射率可从钠长石的1.53～1.54（点测），到钙长石的1.57～1.58（点测）（见表3-1-33）。



图3-1-322 斜长石

1. 日光石

日光石（Sunstone）又称“日长石”、“太阳石”，是钠奥长石中最重要的品种，有时也称为砂金效应长石（见图3-1-323）。钠奥长石中因含有大致定向排列的金属矿物薄片，如赤铁矿和针铁矿（见图3-1-324），随着宝石的转动，能反射出红

色或金色的反光，即砂金效应。常见颜色为金红色至红褐色，一般呈半透明。



图 3-1-323 日光石



图 3-1-324 日光石中的片状金属矿物包体

日光石的密度为 2.62～2.67g/cm³，常见的密度值为 2.64g/cm³，折射率为 1.537～1.547（+ 0.004，－ 0.006），在紫外光下无反应，但在 X 光下发白光。

2. 拉长石

拉长石化学成分为（Ca，Na）[Al(Al，Si)Si_2O_8]。拉长石最重要的宝石品种是晕彩拉长石。其特征是当把宝石样品转动到某一定角度时，见整块样品亮起来，可显示蓝色、绿色以及橙色、黄色、金黄色、紫色和红色晕彩，即晕彩效应（见图 3-1-325）。晕彩产生的原因是拉长石聚片双晶薄层之间的光相互干涉形成的，或由于拉长石内部包含的细微片状赤铁矿包体及一些针状包体，使拉长石内部的光产生干涉。有的拉长石因内部含有针状包体，可呈暗黑色，产生蓝色晕彩，如果切磨方向正确，有时还可以产生猫眼效应，这种拉长石还被称为黑色月光石。



图 3-1-325 拉长石

拉长石的密度为 2.65～2.75g/cm³，折射率为 1.559～1.568(± 0.005)，双折射率常为 0.009，色散 0.012，无特征的吸收谱线。美国、墨西哥和澳大利亚发现的某些透明拉长石密度为 2.68g/cm³，折射率为 1.572～1.565。内部可有暗色针状矿物包体、片状磁铁矿包体等。

拉长石的透明品种也可作为宝石。美国 Millary 县发现一种近于无色至浅黄色的拉长石，无晕彩效应，其密度为 2.68g/cm³，折射率为 1.572～1.565。墨西哥和澳大利亚也发现有类似的拉长石材料。马达加斯加产的一种透明的拉长石显蓝色的晕彩，并含有黑色针状包体。这些透明的拉长石在紫外光下只呈弱的荧光，而在 X 光下发亮绿色的光。

在美国俄勒岗发现拉长石的新品种——拉长石日光石，颜色呈浅黄色、浅粉色、中橙色、深红色，少量呈绿色。透明或半透明，无或很少有多色性，具砂金效应。为一种高钙斜长石，因内部含有片状金属矿物，反射光下产生砂金效应。

芬兰产的一种拉长石具有鲜艳的晕彩效应，有的著作中称为“光谱石”。

3. 培长石

在美国俄勒岗 Plush 发现有浅黄色、红色的培长石，密度为 2.739g/cm³，折射率为 1.56～1.57，在 573nm 处具吸收带。

三、长石与相似宝石的鉴别

（一）与月光石相似的宝石

与月光石相似的宝石可有无色水晶、浅黄色水晶、无色绿柱石、玉髓、合成尖晶石、玻

璃、塑料等。

1. 月光石与水晶的鉴别

详见水晶有关章节，在此略。

2. 月光石与无色绿柱石的鉴别

1）绿柱石的折射率、密度略高于月光石。

2）绿柱石常含有平行排列的管状包体、气液包体，而月长石具有典型的蜈蚣状包体。

3. 月光石与玉髓的鉴别

1）月光石为单晶非均质体宝石，在正交偏光下转动具四明四暗的消光现象，而玉髓为隐晶质集合体，在正交偏光下全亮。

2）月光石的月光效应显示一种蓝白色浮光，而玉髓则仅能显示一种乳白色的辉光。

4. 月光石与仿月光石的合成尖晶石的鉴别

仿月光石的合成尖晶石是将无色的合成尖晶石热处理后产生近似的月光效应，但其折射率较高，为1.725左右，密度大，为3.47g/cm^{3}左右，这两个数据均高于月光石。另外，月光石在紫外光下长波可呈无或很弱的荧光，短波具弱的粉红色荧光，在滤色镜下无反应，而合成尖晶石在短波紫外光下具较强的荧光反应，并且在滤色镜下呈现红色。

5. 月光石与玻璃、塑料的鉴别

仿月光石的玻璃和塑料有时与月光石很像，折射率可以相近或相同，内部也可以造出月光石那样朦胧的效果，甚至密度也可以相近或相同。但是玻璃和塑料为非晶质体，在偏光镜下呈全黑或微亮，具异常消光的玻璃常呈一条阴影左右移动。月光石为非均质体，在偏光镜下呈明暗变化，具二轴晶的干涉图。玻璃和塑料在紫外光下常具中至强、白垩状荧光，且短波强于长波，而月光石的荧光无或弱。玻璃和塑料的内部可发现有气泡、气泡群或搅动构造，这是月光石中所没有的。另外塑料用热针检测，会发出刺鼻的臭味。其他长石与玻璃和塑料的区别也同样。

（二）与日光石相似的宝石

由于日光石的特殊光学效应，天然的宝石品种中与日光石相似的品种不多，主要为具砂金效应的玻璃与东陵石。

1. 玻璃

仿砂金石的玻璃用褐色的玻璃和小铜片人工烧制而成，亦称“砂金石”或“金星石”（见图3-1-326）。这种玻璃一般不透明，内部含有大量小铜片，砂金效应好于日光石，另外放大观察，内部所含的包体（小铜片）形状、大小一致，不同于日光石。



图3-1-326 仿砂金石的玻璃

2. 东陵石

东陵石内部含的是铬云母片，而日光石内部含的是片状金属氧化物赤铁矿、针铁矿；日光石呈现金黄色至橙黄色的闪光，而东陵石只是绿色的片状闪光。拉长日光石中有少量呈绿色，但东陵石的折射率、密度比日光石的稍高，折射率点测为1.54，密度为2.65g/cm^3。

（三）与晕彩拉长石相似的宝石品种

与晕彩拉长石相似的宝石有变彩较强的欧泊，特别是一些黑欧泊。二者的鉴别在于：

1）拉长石的密度和折射率比欧泊的高，欧泊的密度只有2.15g/cm³，折射率为1.45左右。

2）镜下放大检查：欧泊内部彩色斑块，不同斑块具不同的颜色，界线较清晰，而且随着样品的转动，每块彩色斑块的颜色会随之发生变化，即具变彩效应。而拉长石的内部具片状或针状磁铁矿包体，没有明显的斑块界线，而且样品转动时，整体颜色依光谱的色彩变化。

（四）与天河石相似的宝石品种

与天河石相似的宝石品种主要有玉髓、绿柱石、绿松石、翡翠、染色大理岩、硅孔雀石、合成尖晶石、玻璃、塑料等。

1. 与玉髓的鉴别

除在折射率和密度方面的差异之外，还有：

1）绿色玉髓的颜色是均匀的，而天河石颜色不均匀；由于钠长石在钾长石中呈脉状、蠕虫状出溶形成一些白色斑块。

2）天河石内可见到两组平直的解理，而玉髓中则无上述现象。

2. 与劣质绿柱石的鉴别

天河石与劣质绿柱石的鉴别主要有以下几点：

1）绿柱石的折射率（1.577～1.583），密度（2.67～2.90g/cm³）均高于天河石；

2）绿柱石内常有气液包体，而天河石则缺乏此类包体；

3）绿柱石常见一组不完全解理，而天河石常见两组近于垂直的解理。

3. 与翡翠的鉴别

绿蓝色至蓝色的翡翠有时与质地较好的天河石相混淆。二者的鉴别在于：

1）翡翠的折射率为1.66左右（点测），密度为3.25～3.40g/cm³，均高于天河石。

2）翡翠为集合体，肉眼观察可见细小的硬玉矿物解理，呈不规则的细微反光，内部为纤维交织结构；而天河石是规则的近于垂直的两组解理，常见网格状色斑。

3）绿色至蓝绿色的翡翠常具690nm、660nm、630nm吸收线和437nm铁吸收线；而天河石则无特征吸收谱线。

四、长石的质量评价

长石的质量评价主要从长石的特殊光学效应及其颜色、透明度、净度几个方面来考虑。长石的特殊光学效应决定了长石的品种，同时对长石的价值评价起着重要作用。透明的长石品种一般商业价值不高，但具收藏价值，而且要求晶莹透明，洁净无瑕。

具特殊光学效应的长石，其所具的光学效应越明显，其价值越高。如月光石中以无色透明至半透明，具漂游状蓝色月光者为最好，是长石类宝石中的珍贵品种（见图3-1-327），而白色的月光石其价值较低。晕彩拉长石中以蓝色波浪状的晕彩者为最佳，其次是黄色、粉红色、红色和黄绿色。日光石则以金黄色强砂金效应者为最好，颜色偏浅或偏暗，均会影响价格。日光石的透明度是非常重要的，宝石越透明，价值就越高。黄色到橘黄色，半透明，深色包体，反光效果好者为日光石的佳品。天河石的颜色以纯正蓝色者为最佳，其次为稍带绿色的蓝，色正透明，且净度高的天河石价值最高。对具特殊光学效应的长石来说，内部包体



图3-1-327 高品质的月光石

对价值影响程度比其他宝石品种轻得多，轻至中度的瑕疵不影响价值，只有严重的裂隙等明显瑕疵会使价格降低。

此外切工直接影响着特殊光学效应的体现，要求较严。如月光石以椭圆弧面型切磨，其弧面长轴应平行晶体的长轴，且弧面宽、厚度适中，使月光效应的蓝色月光处于弧面正中，才能充分体现月光效应，体现月光石的美。

五、长石的产状、产地简介

1. 月光石

月光石的重要产地是斯里兰卡，位于南部省份Ambalangoda、中央省份的Dumbara和Kandy区域，产于冲积砾石中。印度也产有月光石，产出的月光石有体色变化（颜色从白色、红棕色到蓝色，还有一种绿色的月光石）。其他产地有马达加斯加、缅甸、坦桑尼亚、南美的加罗里多、印第安那、新墨西哥、纽约、北卡罗来纳、宾夕法尼亚等地。

中国的月光石产地有内蒙古、河北、安徽、四川、云南等地。内蒙古的月光石发现于古老的花岗伟晶岩岩脉的长石石英块体带和石英块体带中，与微斜条纹长石连生或共生。另外在内蒙古中部地区的砂矿中也有月光石发现。河北的月光石发现于宣化城北变质岩系中的花岗伟晶岩脉中，质量较好。安徽的月光石发现于庐江的黑云母二长岩岩体中，呈粒状及似斑状，与斜长石、黑云母、辉石、磷灰石、磁铁矿等共生。此外，四川的月光石发现于丹巴的花岗伟晶岩中，云南的月光石发现于哀牢山变质带。

2. 透明正长石

透明正长石的主要产地为马达加斯加、缅甸，在德国的Rhineland也发现有一种玻璃状的正长石变种，呈无色、粉褐色。

3. 天河石

天河石目前主要产于印度的科斯米尔和巴西，美国的优质天河石曾一度开采于弗吉尼亚，但现在已采空。北美最重要的产地在克罗拉多州，产于伟晶岩中。另外，加拿大的Ontario，俄罗斯的米斯克和乌拉尔山脉，马达加斯加、坦桑尼亚和南非等地均有很好的绿色或蓝绿色的天河石。

我国新疆、甘肃、内蒙古、山西、福建、湖北、湖南、广东、广西、云南、四川等地也产出天河石。新疆的天河石分布于哈密和阿尔泰等地区，甘肃的天河石分布于酒泉地区，云南的天河石分布于贡山县至泸水县间，以及元阳等地，其中贡山一带天河石质量较好，分布面积广，有望成为中国未来一个重要的天河石产区。

4. 日光石

最好的日光石产于挪威南部的Tvedestrand和Hitero，日光石产于穿插在片麻岩中的石英脉中，呈块状产出；另一个产地是俄罗斯贝加尔湖地区。此外在加拿大、印度南部、美国的Maine和新墨西哥、纽约等地都有日光石产出。

5. 拉长石

拉长石的主要产地为加拿大、美国、芬兰。加拿大的拉布拉多（Labrador）就以富产宝玉石级的拉长石大晶体而闻名，“Labradorite”（拉长石）一名亦由此而来。优质拉长石产于美国。最漂亮的晕彩拉长石发现于芬兰。

第十节　碧玺（电气石）

碧玺（Tourmaline）又称“碧硒”、“碧洗”、“碧霞玺”等，英文名称“Tourmaline”来源于古僧迦罗语Turmali，是“混合宝石”之意。碧玺以颜色艳丽、色彩丰富、质地坚硬而获得了世人的厚爱。17世纪，巴西向欧洲出口了长柱状深绿色碧玺，人们称之为“巴西祖母绿”。18世纪人们发现碧玺具有祖母绿所没有的其他特殊物理性质，如吸引或排斥轻物质（灰尘、草屑）等的能力，于是荷兰人称之为“吸灰石”。中国对碧玺的认识和利用历史久远，但迄今仍未发现古代有关开采碧玺宝石的记载，一般认为此种宝石是从缅甸、斯里兰卡等国输入的。北京故宫博物院收藏了大量的碧玺饰物，如朝珠、鸡心、耳坠、各种盆景等。

一、碧玺的基本性质

（一）矿物名称

宝石学名称为碧玺,矿物学名称电气石（Tourmaline），属于电气石族。

（二）化学成分

碧玺宝石的化学式为$(Na,K,Ca)(Al,Fe,Li,Mg,Mn)_3(Al,Cr,Fe,V)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH,F)_4$，是极为复杂的硼硅酸盐，以含B为特征。它的化学成分基本上由四个端点组分构成：镁电气石、黑电气石 、锂电气石、钠锰电气石。

镁电气石（Dravite）　$NaMg_3Al_6B_3(Si_6O_{27})(OH)_4$

黑电气石（Schorl）　$NaFe_3Al_6B_3(Si_6O_{27})(OH)_4$

锂电气石（Elbaite）　$Na(Li，Al)Al_6B_3(Si_6O_{27})(OH)_4$

钠锰电气石（Tsilaisit）$NaMn_3Al_6B_3(Si_6O_{27})(OH)_4$

镁电气石—黑电气石之间以及黑电气石－锂电气石之间形成两个完全类质同象系列，镁电气石和锂电气石之间为不完全的类质同象。色泽鲜艳、清澈透明者可做宝石。

（三）晶系及结晶习性

碧玺属复三方单锥晶类。晶体常呈柱状，常见晶形有三方柱$m\{01\bar{1}0\}$，六方柱$d\{11\bar{2}0\}$，三方单锥$r\{10\bar{1}1\}$、$o\{02\bar{2}1\}$、$z\{01\bar{1}1\}$以及$u\{32\bar{5}1\}$等，（见图3-1-328），晶体两端晶面不同。柱面上纵纹发育，横断面呈球面三角形，（见图3-1-329）。集合体呈放射状、束状、棒状，亦呈致密块状或隐晶质块体。可作为很好的观赏石。

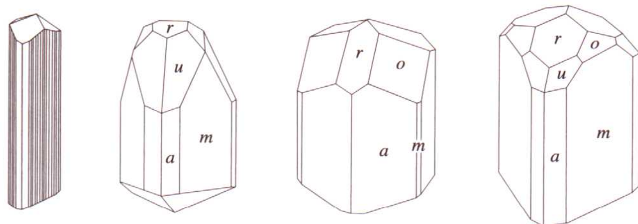


图3-1-328 电气石晶形



图3-1-329 碧玺晶体

（四）光学性质

1. 颜色

质纯者无色，但通常呈玫瑰红或粉红、红、绿、深绿、浅蓝、蓝、深蓝、蓝灰、紫、黄、绿黄、褐、黄褐、浅褐橙、黑等色，颜色丰富多彩（见图 3-1-330）。同一晶体内外或不同部位可呈双色或多色（见图 3-1-331）。



图 3-1-330 各种颜色碧玺刻面宝石



图 3-1-331 双色碧玺晶体

碧玺颜色随成分而异，富含铁的碧玺呈暗绿、深蓝、暗褐或黑色；富含镁的碧玺为黄色或褐色；富含锂和锰的碧玺呈玫瑰红色，亦可呈淡蓝色；富含铬的碧玺呈深绿色。碧玺色带发育，色带可依Z轴为中心由里向外形成色环，也可垂直Z轴形成平行排列的色带。作为宝石用碧玺的颜色主要有三个系列。

红色系列 红、桃红、紫红、玫瑰红、粉红色，其颜色的产生主要是由 Mn^{2+} 所致。

蓝色系列 蓝、紫蓝色。

绿色系列 蓝绿、黄绿、绿色。

另外还有黄碧玺、紫碧玺、黑碧玺、无色碧玺等。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽；透明至不透明。

3. 光性

一轴晶，负光性。

4. 折射率与双折射率

折射率为 1.624～1.644（+ 0.011，－ 0.009）。折射率随成分变化而变化，当其成分中富含 Fe、Mn 时折射率增大。黑色电气石的折射率可高达 1.627～1.657。双折射率为 0.018～0.040，通常 0.020。

5. 多色性

碧玺多色性强度变化于中—强之间，多色性颜色随体色而变化，呈现深浅不同的体色。

6. 发光性

紫外荧光 一般情况下电气石无荧光，粉红色电气石在长、短波紫外光照射下有弱红到紫色的荧光。

X －射线荧光 只有粉红色的电气石有弱紫色荧光，其他无。

7. 吸收光谱

红色和粉红色碧玺绿色区有一宽的吸收带，有时可见 525nm 窄带，451nm 和 458nm 的吸收线（见图3-1-332）。绿色和蓝色碧玺红区普遍吸收，498nm强吸收带，蓝区有时还可有468nm吸收线（见图 3-1-333）。

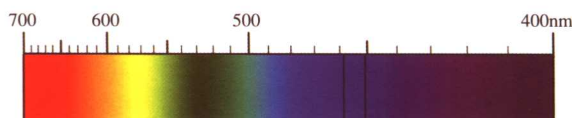


图 3-1-332 红色和粉红色碧玺的吸收光谱

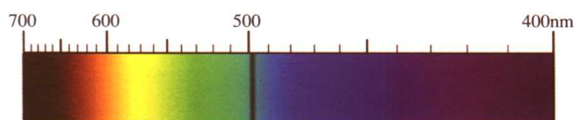


图 3-1-333 绿色和蓝色碧玺的吸收光谱

（五）力学性质

1. 解理

无解理；贝壳状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为7～8。

3. 密度

密度3.06(＋0.20，－0.06)g/cm³，密度与成分有密切关系，当成分中Fe、Mn含量增加时密度增加。

（六）电学性质

1. 压电性

碧玺宝石为无对称中心的矿物，当碧玺宝石沿特殊方向受力时，能够在垂直应力的两边表面产生数量相等符号相反的电荷，且荷电量与压力成正比。

2. 热电性

碧玺宝石在温度改变时，在Z轴两端产生相反的电荷，易吸附灰尘，因此也被称为“吸灰石”。

（七）内外部显微特征

碧玺内含有典型的不规则线状、管状包体（见图3-1-334）和扁平的平行Z轴的薄层空穴，包体内可被气液所充填（见图3-1-335），还可能有少量铁质充填，部分碧玺内可见大量平行纤维，可以出现猫眼效应。常有红色、蓝色、绿色碧玺猫眼。

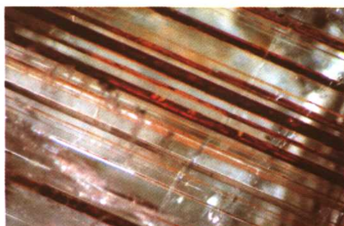


图 3-1-334 碧玺内平行于Z轴的管状包体

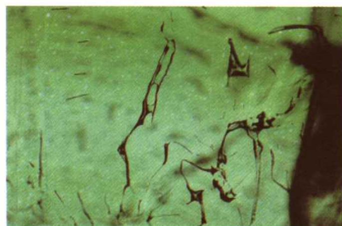


图 3-1-335 碧玺内气液两相包体

红色碧玺内部含有许多与晶体长轴平行的裂纹，这些裂纹常被气液包体充填，可有镜面反光现象。红色碧玺还含有发丝状的液体包体。

绿色碧玺则很少含有与晶体长轴平行的裂纹，而是以含有许多细长而不规则的丝状、“撕裂状”气液包体为特征，这些包体可以均匀地分布于整个宝石之中，亦称为“毛晶”（见图 3-1-336）。

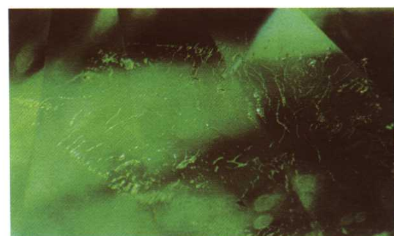


图 3-1-336 碧玺中“毛晶”

（八）特殊光学效应

常见猫眼效应，变色效应稀少。

二、碧玺的品种

碧玺颜色十分丰富，宝石界按颜色及特殊光学效应将碧玺划分成不同的品种。

1. 按照颜色划分

1）红色碧玺。粉红至红色碧玺的总称。

2）绿色碧玺。黄绿至深绿以及蓝绿、棕绿色碧玺的总称。

3）蓝色碧玺。浅蓝至深蓝色碧玺的总称。

4）多色碧玺。由于电气石色带十分发育，常在一个单晶体上出现红色、绿色的二色色带或三色色带（见图 3-1-337）；色带也可依 Z 轴为中心由里向外形成色环（图 3-1-338），内红外绿者称“西瓜碧玺”（见图 3-1-339）。



图 3-1-337 多色碧玺

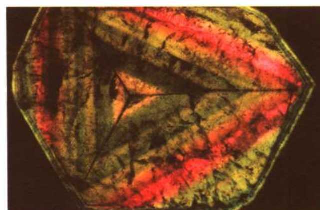


图 3-1-338 碧玺中的环带



图 3-1-339 “西瓜碧玺”

2. 按照特殊光学效应划分

1）碧玺猫眼。当电气石中含有大量平行排列的纤维状、管状包体时，磨制成弧面形宝石时可显示猫眼效应被称为碧玺猫眼。常见的碧玺猫眼为绿色，少数为蓝色、红色（见图 3-1-340）。

2）变色碧玺。变色明显的碧玺，但罕见（见图 3-1-341）。



图 3-1-340 各种颜色的碧玺猫眼



图 3-1-341 变色碧玺

三、碧玺与相似宝石的鉴别

一般来讲，只要仔细观察和测试，碧玺是不太容易与其他宝石相混的。碧玺可以有浓郁的颜色，明显的多色性，高双折射率值（导致刻面碧玺棱线重影现象明显），典型的包体等特点与其他宝石相区别。特别值得一提的是碧玺具有热电性，在受热或太阳的辐照下其表面可带有电荷，这些电荷对空气中的异性电荷具有相吸性，也就是说这些电荷对空气中的带异性电荷的灰尘具有吸附作用。因此在商店的陈列品中碧玺表面往往比其他宝石吸附着更多的灰尘，有经验的珠宝商可从这一现象上对碧玺作初步判断。

不同颜色的碧玺其相似宝石也不同。红色碧玺主要易与粉红色黄玉、红色尖晶石、红柱石等相混，此时只要有一瓶密度为3.06g/cm^{3}的重液，便可将碧玺挑选出来。在密度为3.06g/cm^{3}的重液中，红色碧玺悬浮或慢慢下沉，而红色黄玉、红色尖晶石则迅速下沉，红柱石也表现为下沉，下沉速度略小于黄玉和尖晶石。

绿碧玺主要易与绿色蓝宝石、绿色透辉石等相混。绿碧玺与绿色蓝宝石相比较，前者有大的双折射率，在折射仪中二条阴影界线明显分离。而与透辉石相比，二者都有较大的双折射率和较清晰的后刻面棱重影，在这两点上二者很难区分，但是在折射仪上仔细观察阴影界线可以发现，电气石中仅有较低折射率值的阴影界线上下移动，另一条不动，为一轴晶宝石的特点；而在透辉石中两条阴暗界线可上下移动，是典型二轴晶宝石特点。另外，透辉石具有高于电气石的折射率值。

祖母绿在外观上与绿色、翠绿色碧玺很相似。但是，祖母绿的折射率和双折射率均明显低于碧玺，宝石后刻面棱线重影不明显，而碧玺则可见明显重影。祖母绿二色性弱，而碧玺二色性很强。据此，即可将二者区分开。祖母绿的密度明显地低于碧玺。祖母绿含有特征的三相或两相包体，而碧玺的包体为不规则线状和扁平的薄层空穴，其内常被液体充填，根据这点亦可将二者区分。

四、合成碧玺及其鉴别特征

根据目前资料，合成碧玺已经出现于国外市场。合成碧玺采用水热法，压力200Pa，温度控制在300～700℃温度，在富镁富钙的环境中生成。

合成碧玺具有水热法合成宝石的普遍特征，它与天然碧玺的特性极为相似，但它颜色均匀、纯净，给人以完美无缺的感觉。另外合成碧玺具有较低的密度值，为2.9～3.0g/cm^3，而天然碧玺的密度一般在3.06～3.1g/cm^{3}之间。

五、碧玺的优化处理

当天然碧玺宝石质量欠佳或不好时，常常要运用人工方法以改善其质量。碧玺优化处理后的表面或表层总会留下处理的痕迹，不仅如此，随着时间推移，经处理产生的颜色经常会逐渐消失。常用的方法有以下几种：

1. 热处理

热处理是指对那些颜色较深（如深蓝、深绿、深黄绿、深紫红色等）的碧玺进行加热处理，使其颜色变浅，从而增强其透明度和提高其宝石档次。其方法较多，如真空热处理、密封热处理、氧化-还原热处理等。保护气体在热处理过程中起着重要作用，着色在氧化环境中进行，褪色在还原环境中进行。操作时可以将深色碧玺宝石置于低温环境中加热，然后在氧化-还原条件下，置于密封容器中填充保护气体（Ne或He），保护介质用Al_2O_3、石英砂等。

再选择不同的温度对宝石进行缓慢的升、降温度处理，就可以获得满意的颜色。例如，经热处理的新疆深蓝色、深绿色、深黄绿色碧玺分别变成了蓝（浅蓝色）、绿（浅绿色）、黄绿（浅黄绿色）碧玺，且其透明度亦大大提高。

2. 辐照处理法

指对那些无色或色淡、多色的碧玺运用高能射线进行辐照处理，辐照的时间、射线剂量等不同，可以使其呈现出不同的颜色（如红、粉红、紫红、红紫、红绿色等）。高能射线的种类较多，常用的为γ射线（如Co^{60}），一般辐照累积计量在10^6crem以上就可以导致其颜色发生变化。曾经对新疆产的碧玺进行辐照处理，处理后浅粉红色碧玺变成了红、深红色；浅绿色碧玺变成了粉红、红、深红色；双色碧玺变成了红绿、红紫色；无色碧玺变成了粉红、红、深红色。

电子轰击亦可使无色或粉红色的电气石变成更好的红色，但在颜色改变的同时会产生大量裂纹。绿碧玺在电子轰击下颜色不会发生改变。

3. 镀膜碧玺

无色或近无色的碧玺，经镀膜处理后可以形成各种颜色，颜色鲜艳（见图3-1-342）。镀膜碧玺的折射率变化范围较大，无特征的吸收光谱，特征包体为无色透明晶体、针点状包体、指纹状包体及裂隙。镀膜碧玺光泽大大增强强，可达亚金属光泽，大部分镀膜碧玺宝石在折射仪上只有一个折射率，并且折射率范围变化较大，甚至超过1.70。



图3-1-342 镀膜碧玺

六、碧玺的质量评价

对于碧玺的评价可从重量、颜色、净度、切工几个方面来进行，其中透明度好、块度大者是碧玺中的上品，在评价中颜色是最重要的因素。另外，碧玺的特殊光学效应亦可提高它的价值。

1. 颜色

宝石中要求碧玺颜色鲜艳、纯正、分布均匀，有色带和色环者颜色要求纯正均匀，色带、色环分界清晰。优质碧玺的颜色为玫瑰红、紫红色，它们价格很昂贵，粉红的价值较低。绿色碧玺以祖母绿色最好，黄绿色次之。因纯蓝色和深蓝色碧玺少见，因此它们的价值亦很高。好的红色碧玺的价格可比相同大小的绿色碧玺高出2/3。所有颜色碧玺都是以色泽亮，纯正者价值为高。

2. 净度

要求内部包体尽量少，晶莹无瑕的碧玺价格较高，含有许多裂隙和气液包体的碧玺通常用作玉雕材料。

3. 切工

切工应规整，比例对称，抛光好。碧玺可切磨成各种形状：祖母绿型、椭圆型、标准圆钻型和混合型。其中祖母绿型最能体现碧玺美丽的颜色，是最佳切工，相对价格亦较高。碧玺垂直于Z轴方向的切面颜色较深，平行于Z轴方向颜色浅，易出现二色性，加工时应该根据实际情况进行加工取向。

七、碧玺的成因及产地简介

碧玺成分中富含挥发组分B及H_2O，多产于花岗伟晶岩及气成热液矿床中。一般黑色碧玺形成于较高的温度，绿色、粉红色一般形成于较低的温度，此外变质矿床中也有碧玺产出。碧玺作为花岗伟晶岩的矿物组成成分，因此碧玺成矿也应该在花岗伟晶岩分布最广泛的地区。

世界上许多国家都盛产碧玺，如巴西、斯里兰卡、缅甸、原苏联、意大利、肯尼亚、美国等。其中巴西的米纳斯克拉斯州所产的彩色碧玺就占世界总产量的50%～70%，而在巴西的帕拉伊巴州还发现了罕见的紫罗兰色、蓝色碧玺，巴西产出的优质蓝色的透明碧玺被誉为“巴西蓝宝石”。巴西以产红、绿色碧玺和碧玺猫眼而闻名于世；美国则以产优质的粉红色碧玺而著称；俄罗斯乌拉尔出产的优质红碧玺有“西伯利亚红宝石”（Siberian – ruby）之称；意大利则以产无色碧玺而闻名。

我国碧玺的主要产地是新疆阿尔泰、云南哀牢山和内蒙古，颜色品种十分丰富，而且质量好。

新疆是中国碧玺最为重要的产地，绝大多数产于阿勒泰、富蕴等地的花岗伟晶岩型矿床中，其次为昆仑山地区和南天山腹地。新疆碧玺色泽鲜艳，红色、绿色、蓝色、多色碧玺均有产出，晶体较大，质量比较好。新疆也产出“西瓜碧玺”，颜色成环状分布，外环为墨绿、核心为红色，或外环为黑色、内部为桃红色。

内蒙古是中国碧玺的重要产地之一，分布于乌拉特中旗角力格太等地。质纯者无色，透明。通常呈绿、翠绿、蓝绿、浅绿、黄绿、草绿、天蓝、深蓝、黑、桃红、玫瑰红、浅黄、橘黄、棕黄以及多色碧玺。晶体的透明度与其大小有关，一般晶体越小，透明度越高。研究和加工表明，本区所产碧玺质地优良，尤以绿色碧玺为最。

云南碧玺大多以单晶体的形式产出，部分碧玺呈棒状、放射状、块状集合体出现。红色碧玺呈粉红、玫瑰红、桃红色，透明到半透明，福贡、元阳等地产出。绿碧玺呈绿、翠绿、墨绿、黄绿、篮绿、草绿、浅绿、苹果绿等色，透明到半透明，其晶体多为自形、半自形的长柱状，外形一般比较完整，质地较好，贡山、福贡、保山等地产出。蓝色碧玺呈蓝、绿蓝、海蓝等色，透明至半透明，贡山、保山等地产出。多色碧玺晶体裂隙较多，透明度较差，福贡地区产出。

第十一节 锆　　石

锆石，又称为锆英石，是地球上形成最古老的矿物之一。因其稳定性好，而成为同位素地质年代学最重要的定年矿物，已测定出的最老的锆石形成于43亿年以前。锆石被人们用做装饰的历史也非常悠久，早在古希腊时期即受到人们的喜爱，光芒四射的锆石被喻为繁荣与成功的象征。无色的锆石常被当作钻石的替代品。锆石是十二月的生辰石。

一、锆石的基本性质

（一）矿物名称

锆石（Zircon），在矿物学上属于锆石族。

（二）化学成分

$ZrSiO_4$，可含有微量Mn、Ca、Fe、Mg、Al、P、Hf以及放射性微量元素U、Th等。这些放射性元素释放出α粒子，α粒子不断撞击晶格使晶格受到破坏。这种破坏使得锆石的结晶程度降低，其物理性质也随之改变。根据结晶程度可将锆石分为高、中、低三种类型，其中高型、中型为结晶态，低型接近于非晶态。

（三）晶系及结晶习性

四方晶系，四方柱（*m*、*a*）与四方双锥（*p*、*u*、*x*、*s*），可以不同倾斜角度结合。晶体可呈假八面体状，但四方柱常较发育（见图3-1-343、图3-1-344）。依{011}构成膝状双晶。

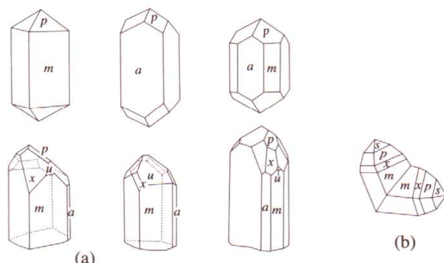


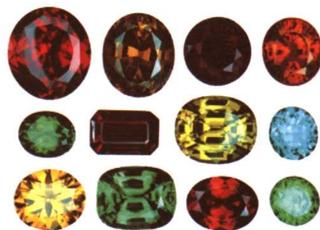
图3-1-343 锆石晶体


图3-1-344 锆石晶体

（四）光学性质

1. 颜色

常见有无色、蓝色、绿色、黄绿色、黄色、棕色、褐色、橙色、红色、紫色等（见图3-1-345）。


图3-1-345 各种颜色品种锆石

2. 光泽、透明度、色散

抛光面为金刚光泽至玻璃光泽，断口为油脂光泽。

透明度为透明至半透明。

色散：强，0.038。

3. 光性特征

中、高型锆石为一轴晶，正光性。低型锆石接近于非晶态。

4. 折射率和双折射率

折射率从高型至低型逐渐变小，高型：折射率1.925～1.984(±0.040)，双折率0.040～0.060；中型：折射率1.875～1.905(±0.030)，双折率0.010～0.040，介于高型与低型之间；低型：折射率1.810～1.815(±0.030)，双折率无至很小。

5. 多色性

锆石的双折射率虽然很大但其多色性表现一般不明显，热处理产生的蓝色锆石除外。

蓝色锆石　多色性强，蓝和棕黄至无色。

绿色锆石　多色性很弱，绿色和黄绿色。

橙至褐色锆石　多色性弱至中，紫棕色至棕黄色。

红色锆石　中，紫红至紫褐色。

6. 发光性

紫外灯下一般无荧光，但有些具很强荧光，荧光颜色总带有不同程度的黄色。

蓝色锆石　长波下无至中，浅蓝色荧光；短波下无。

绿色锆石　一般无荧光，有些可有很弱的绿、黄绿色荧光。

棕、褐色锆石　无至极弱的红色荧光。

红、橙红色锆石　无至强的黄、橙色荧光。

X荧光。在X射线下，不同颜色和不同类型的锆石具有不同的荧光色和荧光强度。多数锆石具白或蓝紫色X荧光，也有些可具绿色、黄色X荧光。

7. 吸收光谱

锆石的可见光吸收谱中可具2～40多条吸收线，特征吸收谱为653.5nm吸收线（见图3-1-346），还可见691nm、683nm、662.5nm、660nm，621nm、615nm、589.5nm、562.5nm、537.5nm、516nm、484nm、460nm、432.7nm吸收线。蓝色和无色的锆石只有653.5nm吸收线；绿色锆石可多达40条吸收线；红色和橙—棕色锆石无特征吸收线。低型锆石一般只有中心位于653.5nm处的宽吸收带，比较模糊，热处理后较清晰，并产生其他吸收线。

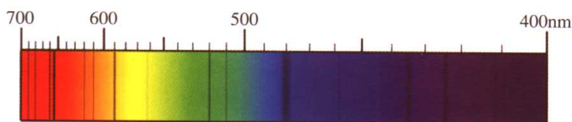


图3-1-346 锆石吸收光谱

（五）力学性质

1. 解理

无解理。断口呈贝壳状。锆石较脆，常见边角有破损（纸蚀）。

2. 硬度

摩氏硬度为6～7.5，高型为7～7.5，低型可低至6。

3. 密度

从高型至低型逐渐变小，范围为3.90～4.73g/cm³（见表3-1-34）。

表 3-1-34 不同类型锆石的折射率、双折射率和密度

类型 \ 性质	n	双折射率	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$
高型锆石	1.925～1.984	0.040～0.060	4.60～4.80
中型锆石	1.875～1.905	0.010～0.040	4.10～4.60
低型锆石	1.810～1.815	0.001～0.010	3.90～4.10

（六）内外部显微特征

高型锆石常具愈合裂隙（见图3-1-347）及矿物包体如磁铁矿、磷灰石、黄铁矿等。高型锆石的后刻面重影十分明显（见图3-1-348）；中低型锆石常具平直或两个方向的角状色带（见图3-1-349），还可见少量絮状包体。另外锆石中还可见平行的生长管道（见图3-1-350），切磨成弧面型可呈现猫眼效应。

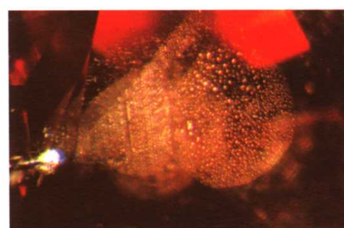


图 3-1-347 锆石中的愈合裂隙



图 3-1-348 锆石具有明显的后刻面重影

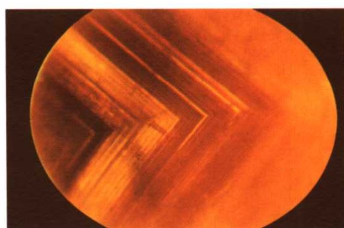


图 3-1-349 锆石中的角状生长带

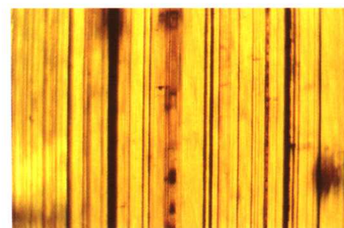


图 3-1-350 锆石中平行的生长管道

（七）特殊光学效应

可具猫眼效应、星光效应，罕见。

二、锆石的品种

（一）按照结晶程度划分

锆石根据其结晶程度分为高型、中型和低型三种。

1. 高型锆石

属四方晶系，受辐射少或未受辐射，晶格没有或很少发生变化的锆石。具较高的折射率、双折射率、密度和硬度，是锆石中最重要的宝石品种。常呈四方柱四方双锥聚形，颜色多呈深黄色、褐色、深红褐色，经热处理可变成无色、蓝色或金黄色。主要产于柬埔寨、泰国等地。

2. 低型锆石

由不定型的氧化硅和氧化锆的非晶质混合物组成，其结晶程度低、晶格变化大，折射率、双折射率、密度和硬度均较低。低型锆石经一段时间的高温加热，可重新获得高型锆石的特征。宝石级的低型锆石主要产于斯里兰卡，内部有大量的云雾状包体，常见颜色有绿色、灰黄色、褐色等。

3. 中型锆石

结晶程度介于高型和低型之间的锆石，其物理性质也介于高型和低型锆石之间。目前中型锆石仅出产于斯里兰卡。常呈黄绿色、绿黄色、褐绿色、绿褐色，深浅不一，主要呈现黄色和褐色的色调。中型锆石在加热至1450℃时，可向高型锆石转化，部分可具有高型锆石的物理特征，但处理后的中型锆石，常呈混浊、不透明状，不太美观，所以市场上很少出现这类锆石，仅供收藏。

（二）按照颜色划分

商贸中常根据锆石的颜色划分品种，主要品种有：

1. 无色锆石

锆石中常见品种，为高型锆石，可带一些灰色色调，主要产于泰国、越南和斯里兰卡。有天然产出的，也有经热处理转变的。无色锆石主要采用圆钻型切磨，但一般在亭部多出八个面，常称为锆石型切工，可得到很好的火彩效果。因而曾一度被作为钻石的天然仿制品，流行一时。

2. 蓝色锆石

常是经热处理而成。可有纯蓝色、铁蓝色、天蓝色、浅蓝色、稍带绿的浅蓝色。以铁蓝色为最好，这是其他宝石中所没有的颜色，但不常见。热处理的主要原料来源于柬埔寨与越南的交界处。

3. 红色锆石

主要呈红色、橙红、褐红等不同色调的红色。其中以纯正的红色为最佳。红色锆石称为“风信子石”，常是碱性玄武岩中的深源矿物包体或片麻岩中的变质矿物，主要产出于斯里兰卡、泰国、柬埔寨、法国等，中国海南文昌也有红色锆石产出，具高型锆石的特征。

4. 金黄色锆石

与蓝色锆石一样，同属于热处理产生的颜色。其他色调的黄色可有浅黄、绿黄等。常切成圆形、椭圆形或混合形。具高型锆石的特征。

5. 绿色锆石

常为结晶程度较低的锆石。低型锆石常见有绿色，中型锆石可具绿黄、黄色、褐绿、绿褐等不同色调的绿色。有些热处理锆石，由于技术上控制不当，可以产生带绿色色调的样品。

三、锆石的鉴定特征

锆石的鉴定依据主要是锆石的高折射率、高双折射率、高密度、高色散及众多的吸收谱线等特征。

1）锆石因其高折射率和高色散，而具较强光泽、火彩也较强。

2）锆石通过顶刻面可以看到清晰的底刻面重影。

3）锆石的密度在常见宝石品种中可以说是比较高的，用手掂可以明显感到。

4）锆石的折射率高，＞1.81，无法用常规折射仪测量，双折射率也无法测定，但可以用反射仪来进行测试。

5）锆石众多的吸收线（由内部所含放射性元素U而产生），是锆石鉴定的一个重要特征。其中653.5nm强吸收带是其特征吸收，而且不同颜色不同产地的锆石的吸收线数量也不同。如在缅甸产的一种绿褐色的锆石吸收线数量最多，一个样品上可多达40多条吸收线；斯里兰卡

锆石吸收线的数量要少些，一般有14条吸收线；新南威尔士Uralla的橙色锆石吸收只有几条；法国Auvergne产的红色锆石只显示几条模糊的带。热处理无色、天蓝色和金黄色的锆石吸收极弱；常只有653.5nm的强吸收带和几条细线。

四、锆石的优化处理

（一）热处理

热处理可以改变锆石的颜色，也可以改变锆石的类型。

1. 改变颜色

不同产地的锆石经热处理会出现不同的颜色。

1）在还原的条件下进行热处理可产生天蓝色或无色的锆石。其中最重要的是越南红褐色的锆石原料，经热处理后产生无色、蓝色、金黄色，这是宝石首饰中最常见的品种。热处理步骤如下：

首先样品放在封闭的坩埚里（一般放1kg），放进炉子中，在减压还原的条件下进行加热900～1000℃，约可使30%的样品达到宝石级。剩下70%颜色差但净度好的蓝色锆石，再经进一步加热可产生无色的锆石。这一步热处理的目的是去除锆石中的褐色色调，以产生无色的锆石，同时产生白雾状效果。

2）在氧化条件下进行热处理，温度达900℃时可产生金黄色和无色的锆石，有些样品可呈红色。上述热处理两个步骤下来仍未达到宝石级颜色的样品也可以在这种氧化条件下热处理成无色或金黄色的锆石。

经热处理可得到无色、蓝色、黄色及橙红色锆石。但有些热处理锆石受到强烈日光照射或随时间推移会部分甚至全部恢复原色。如蓝色锆石产生不悦目的绿蓝色或褐蓝色，这种部分恢复的锆石有时放在有木炭的坩埚里，加热至800～900℃，又可完全转为蓝色。此现象与因产地不同而导致的锆石中杂质成分的差异有密切关系。

2. 改变类型

加热至1450℃，持续长时间的热处理可引起硅和锆石重结晶，将低型的锆石转向高型锆石。经这种处理，低、中、高型的锆石都能提高密度（可达4.7g/cm^3），具有较高的折射率和清楚的吸收线，同时还可以提高透明度和明亮程度。热处理引起的重结晶还可产生纤维状微晶，形成猫眼。

经热处理的锆石表面或棱角处常容易发生碎裂和小破坑。

（二）辐照处理

锆石的辐照处理与热处理结果是相反的逆变化过程。几乎所有经热处理得到的高型锆石改善品经辐照处理（X射线、γ射线、高能电子等）都可以恢复热处理前的颜色，甚至变深。天然产出的锆石在辐射下也会发生变色，如无色锆石在X射线照射下可变成深红色、褐红色或紫色、橘黄色；蓝色锆石在X射线辐照下可变成褐色—红褐色。但这类辐照改色锆石往往不稳定，在光照或加热时很快恢复原状。

五、锆石与相似宝石、仿宝石的鉴别

因为锆石的色彩较为丰富，而且颜色深浅程度变化范围较大，锆石几乎可以与任何颜色、透明到半透明的宝石相混。但一般宝石不具有锆石的高折射率、高双折射率、多条吸收谱线

和较高的密度，所以比较容易鉴别。

在斯里兰卡购买的“杂宝”中，常是锆石、金绿宝石、蓝宝石、尖晶石、石榴石、橄榄石、碧玺、绿柱石等宝石混杂在一起，其鉴别方法如下：

1）首先在偏光镜下分出样品里为均质体的尖晶石和石榴石，尖晶石和石榴石可用折射率、可见光的吸收光谱和密度来进一步区分。

2）测折射率，可以区分出金绿宝石、橄榄石、碧玺、绿柱石等一些折射率相对偏小的宝石品种。这些宝石在折射仪上可以读出相应的折射率值，而锆石则无法读出折射率值。

3）观察吸收光谱，一般总能观察到特征的653.5nm吸收线，可与蓝宝石等折射率较高的宝石品种区别开。

4）肉眼感觉，可据锆石的强光泽和高色散将它与其他品种区别开来；另外部分斯里兰卡的锆石，为了保重，冠部很薄，亭部却大而胖，比例失调。

在鉴定中还会遇到象榍石、透辉石等宝石与锆石相混，鉴别方法如下：

1）榍石密度近于3.52，低于任何一种锆石；榍石为二轴晶，而锆石为一轴晶；榍石三色性明显，常呈微绿黄—微红黄—无色。

2）硼铝镁石常与褐黄色的锆石相混，放大检查时均可出现重影线，但其折射率为1.668～1.707，比锆石低得多。

3）绿色蓝宝石易与绿色低型锆石相混，但从折射率上也较容易区别。蓝宝石的折射率较低，1.762～1.770，很少高于1.780，而低型锆石的折射率很少低于1.780。另外，蓝宝石的吸收是450nm的吸收带，而低型锆石的吸收只是以653.5nm为中心的模糊吸收带。

4）透辉石、翠榴石、橄榄石等可与低型锆石相混，但可通过偏光镜和折射仪区分。低型锆石近似于非晶质，在偏光镜下呈不完全消光或呈全亮，而透辉石为非均质体，在偏光镜下呈明显的四明四暗。翠榴石虽是均质体，单用偏光镜不能直接区别于低型锆石，但翠榴石的内部总含有细而弯曲的石棉纤维，可呈典型的“马尾状”包体，而在低型锆石中，仅能见一些平直或带交角的色带、骨絮状包体等，无石棉纤维。

锆石的仿制品主要有合成尖晶石、合成蓝宝石、合成金红石、人造钇铝榴石、玻璃等。它们鉴别可见：

1）合成尖晶石有多种颜色，内部洁净，与锆石相近。但尖晶石是均质体，锆石为非均质体一轴晶；合成尖晶石的折射率低于锆石的折射率，很容易区分。

2）合成金红石具有更高的色散和双折射率，分别为0.330和0.287；折射率亦高，为2.616～2.903；密度稍低，为4.24～4.26g/cm^3，而且合成金红石的吸收光谱特征是在430nm以下全吸收。

3）合成锆石，目前尚无商业价值，只停留于实验室研究。因为锆石能熔于大多数常见的熔剂中，所以人们常用水热法合成锆石，用钒或稀土元素致色，一般呈紫色。

4）人造钇铝榴石、玻璃与锆石的区别：①人造钇铝榴石和玻璃都为均质体，而且在偏光镜下可呈异常消光，玻璃的异常消光常呈一条阴影来回移动。②人造钇铝榴石和玻璃在紫外线下常呈中至强的荧光，而且短波的荧光强于长波的荧光。锆石除蓝色之外，少有强的荧光，常呈弱或无荧光。③人造钇铝榴石和玻璃常呈内部洁净或含有细小气泡、搅动纹等。④人造钇铝榴石和玻璃均可具有较多的吸收线，因所加的致色元素而异，但锆石具653.5nm的特征吸收线。⑤玻璃的折射率比锆石的低得多，人造钇铝榴石虽折射率常超出常规折射仪的测量范围，但在查尔斯滤色镜下常呈红色，以此可以区别。

六、锆石的质量评价

评价锆石一般从颜色、净度、切工和质量四个方面进行。

1. 颜色

评价锆石的颜色最主要是观察锆石颜色的纯度、亮度和均匀度。色纯又均匀的最好，色调发暗、亮度差、颜色不均匀的锆石价值就不会太高。

锆石中最流行的颜色是无色和蓝色，其中以蓝色的价值最高。蓝色锆石常带有绿色色调，比较接近海蓝宝石。

无色锆石应是不带任何杂色的，它能与钻石一样透明。除无色和蓝色外，纯正明亮的绿色、黄绿色、黄色等锆石，由于其高折射率，比橄榄石、金绿宝石、黄晶等更具有光泽，更受人们的喜爱。

颜色评价中应注意热处理产生颜色的稳定性。有些锆石在热处理后的短时间内，有较强的色散和光泽，但不久就会恢复到原来状态。

2. 净度

由于无瑕疵的锆石供应量较大，所以对锆石内部净度的要求也很高。无色和蓝色的锆石评价要求为肉眼观察样品无瑕疵。特别要注意观察样品刻面棱线有无磨损，有磨损的锆石因为要重新抛光价值要下降很多。

3. 切工

锆石的切工评价应考虑其切磨比例和切割方向。

1）锆石之所以显得漂亮，主要因素是锆石具有高折射率、高色散，还在于切磨的比例、抛光程度和本身的光泽。切磨时应注意整体的明亮效果，如斯里兰卡的锆石有时颜色和质地都非常好，但由于切工差，购买时一定要重新计算重切后的重量，再算出其应有的价格。

2）由于锆石的高折射率和高双折射率，光轴平行或近于平行台面时，很容易产生双折射造成的重影，而使样品出现模糊感觉。因此切割时光轴应垂直台面。观察时应从台面看下去，如果在这个方向上无双折射现象，就比较理想。

3）锆石的切割方向还影响着蓝色锆石的蓝色效果。蓝色锆石的多色性比较强，通常呈蓝、灰黄—无色，最纯正的蓝色只有从平行光轴的方向才能观察到。因此切磨时光轴垂直台面，才能获得最佳效果。

4. 重量

市场上供应的蓝色和无色锆石，常见从几分到10ct，超过10ct的不多见，特别是颜色好的大颗粒不多见。

七、锆石的产地简介

锆石分布范围很广，但宝石级的锆石主要产于以下几个地方。斯里兰卡的宝石矿普遍都有锆石的产出；缅甸抹谷宝石矿中也发现有宝石级锆石；此外还有法国艾克斯派利产红锆石；挪威产有晶形完好的褐色晶体；英国有多处发现宝石级锆石；乌拉尔南部山脉发现晶形好、光泽强的锆石。坦桑尼亚爱马利产出近于无色卵石形锆石。我国锆石分布较广，宝石级锆石主要发现于福建、海南、新疆、辽宁、黑龙江、江苏、山东等地。

最重要的产地是越南与泰国交界的区域，这里是惟一产出适于热处理形成蓝色、金黄色和无色锆石的原料产地。

第十二节　托帕石（黄玉）

黄玉又称“托帕石”，英文名称源于红海扎巴贾德岛，该岛又称“托帕焦斯”（译音），意为“难寻找”。托帕石因硬度大和颜色美丽，而成为自古以来比较贵重的宝石，被当作十一月的生辰石，又是结婚16周年纪念宝石，象征着友情和幸福。

一、托帕石的基本性质

（一）矿物名称

黄玉（Topaz），在矿物学中属黄玉族。

（二）化学成分

托帕石为含氟和羟基的铝的硅酸盐矿物，化学成分为$Al_2SiO_4(F,OH)_2$，其特征是含有附加阴离子F^-，F^-可部分地被OH^-所替代，F^-：OH^-等于3：1～1：1，其比值随生成条件（产出的温度）而异。一般来讲，形成温度越高，则F^-含量越高。伟晶岩中托帕石OH^-含量很低，F^-含量接近于理论值（20.7%）；云英岩中的托帕石OH^-含量增加到5%～7%；热液成因的托帕石F^-与OH^-的含量接近相等。值得一提的是，托帕石的F^-：OH^-比值的变化影响着其物理性质。此外托帕石还含有一些微量的Li、Be、Ga、Ti、Nb、Ta、Cs、Fe、Co、Mg、Mn等元素。

（三）晶系及结晶习性

托帕石属斜方晶系。它的晶体结构中存在着由AlO_4F_2八面体连接成的弯曲链，链沿Z轴延伸，链与链之间由$[SiO_4]$四面体连结。在八面体中有四个O和两个F，F经常部分被OH所替代，其链力最弱，致使平行{001}形成完全解理。

托帕石属斜方双锥晶类，常呈短柱状晶形（见图3-1-351），柱面上常有纵纹（见图3-1-352），集合体为粒状、块状等，采自砂矿中的托帕石多被磨蚀成椭圆形。

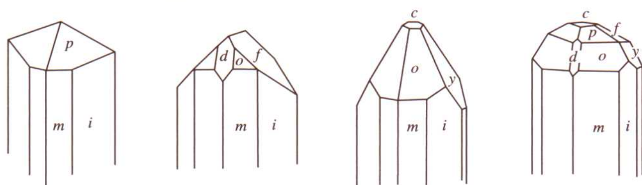


图3-1-351　托帕石晶形


图3-1-352　托帕石原石晶面上明显的纵向纹理

（四）光学性质

1. 颜色

一般呈无色、黄棕色—褐黄色、浅蓝色—蓝色、粉红色—褐红色，极少数呈绿色色调（见图3-1-353）。长期的日光照射下彩色的托帕石会褪色。和电气石一样，在同一块托帕石上也可能出现两种颜色，如亮粉红色和橘黄色组成的“双色黄玉”。


图3-1-353　各种颜色的刻面托帕石

2. 光泽及透明度

透明，玻璃光泽。

3. 光性

二轴晶，正光性，$2V$=44°～66°。

4. 折射率

折射率随成分中F^-和OH^-含量的变化而变化，与F^-的含量呈反比，而与OH^-的含量呈正比（图3-1-354），一般为1.619～1.627(±0.010)。无色、褐色及蓝色托帕石折射率（1.61～1.62）比红色、橙色和黄色及粉红色托帕石的折射率（1.63～1.64）低。双折射率变化范围为0.008～0.010，其大小也与OH^-和F^-含量变化有关，而且无色、褐色及蓝色托帕石双折射率（0.010）比红色、橙色、黄色及粉红色托帕石双折射率（0.008）高。

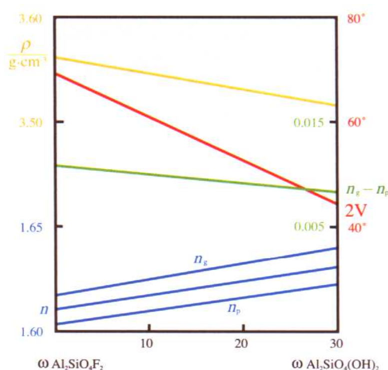


图3-1-354 托帕石的折射率（n）、双折射率（n_g-n_p）、密度（ρ）及光轴角（$2V$）变化与成分中F^-和OH^-含量关系

5. 多色性与色散

具弱—中的多色性，不同品种托帕石的多色性如下：浅蓝—无色；蓝色—浅蓝色；棕黄—黄或橙黄色；黄棕—棕色；浅粉红或黄红—黄色；蓝绿—浅绿色。色散低，为0.014。

6. 发光性

在长波紫外光下，无—中，浅褐色和粉红色托帕石呈橙—黄色荧光；蓝色和无色托帕石通常无荧光，有时也可呈很弱的绿黄色的荧光。在短波紫外光下，无—弱，橙黄、黄、绿白色荧光。

（五）光学性质

1. 解理

{001}一组解理完全，常常平行于底轴面断开，看不到它的完整形态。韧性差。

2. 硬度

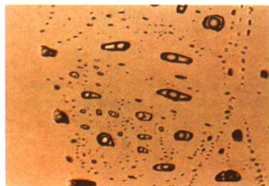
托帕石的摩氏硬度为8。

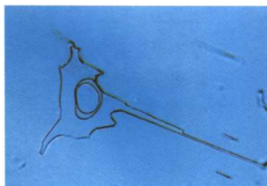
3. 密度

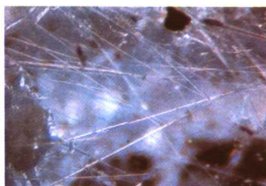
密度一般为3.53(±0.04)g/cm³，随晶体中F^-被OH^-代替而减小。

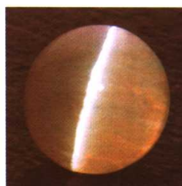
（六）内外部显微特征

与其他大多数主要天然宝石相比，托帕石包体相对较少。放大检查可见气—液两相包体（见图3-1-355），有时在空穴中见两种互不混溶的液体和气泡，且有清晰的分界线把它们分隔开（见图3-1-356）。常见的固体矿物包体有云母、钠长石、电气石和赤铁矿等（见图3-1-357），以及负晶。当托帕石内部具有平行排列，由气液两相充填的管状包体时，经过适当的打磨，即可产生猫眼效应（见图3-1-358）。


图3-1-355 托帕石流体内含物平行于底面聚集


图3-1-356 托帕石内部的三相不混溶的流体包体


图3-1-357 托帕石中的电气石包体常以柱状、针状与纤维状的形式存在


图3-1-358 托帕石猫眼

二、托帕石的优化处理及鉴别方法

目前市场上流行的一些托帕石的颜色是经热处理和辐照处理的结果。天然的蓝色托帕石十分少见。我国市场上有些蓝色托帕石是由无色天然托帕石先经辐射使之呈褐色，然后再加热处理而呈蓝色的。巴西粉红色和红色托帕石是该地产的黄色和橙色托帕石经热处理的产物。

2000年左右，又有一种新型的扩散处理黄玉在市场上出现，该种黄玉整体视觉颜色呈蓝绿色色调，其特征为内部无色，蓝绿色调仅限于表层（厚度< 5μm），表面不均匀地聚集有褐黄绿色斑点。研究表明该种黄玉由 Co^{2+} 离子渗透致色，Co^{2+} 扩散处理的黄玉一般具有由晶格缺陷导致的交错叠片状结构，鉴定它的一个有效办法就是激光拉曼光谱中由 Co^{2+}-O弯曲振动衍生的731，627，504cm^{-1} 3个宽谱带及200cm^{-1}的锐峰。其次，常规检测可发现在浸油中，扩散处理的黄玉表层 Co^{2+} 渗色剂不均匀聚集斑点及颜色浓集，滤色镜下呈橙红色反应及弱吸收Co谱等。

三、托帕石与相似宝石的鉴别

与托帕石相似的宝石矿物有海蓝宝石、碧玺、赛黄晶、磷灰石和红柱石等，利用光学、力学性质及内部包体等特征可以将它们区分。表3-1-35对这几种宝石的性质进行了对比。

表3-1-35　托帕石及其相似宝石的性质对比列表

	光性	颜色	*n*	双折射率	多色性	ρ / g·cm^{-3}	特征包体
托帕石	二轴(+)	无色、蓝色、黄色等	1.619～1.627	0.008～0.010	弱至中，黄色：黄—橙黄；蓝色：不同色调的蓝	3.53 二碘甲烷中下沉	二相、三相包体；两种或两种以上不混溶液态包体，负晶等
海蓝宝石	一轴(－)	绿蓝色、浅蓝色	1.577～1.583	0.005～0.009	明显，蓝色—绿蓝色	2.72 二碘甲烷中上浮	气液两相、三相包体，平行管状包体
碧玺	一轴(－)	各种颜色均有，同一晶体不同部位也会出现不同颜色	1.624～1.644	0.018～0.040	中至强，为深浅不同的体色	3.06 二碘甲烷中上浮	充满液体的扁平状、不规则管状包体等；明显刻面棱双影
赛黄晶	二轴(－)	黄色、褐色或无色，偶见粉红色	1.630～1.636	0.006	弱	3.00 二碘甲烷中上浮	气液包体、固态包体
磷灰石	一轴(－)	无色、黄色、绿色、蓝色等	1.634～1.638	0.002～0.008	蓝色者强：蓝色—黄色至无色；其他颜色者很弱	3.18 二碘甲烷中上浮	气液两相包体、矿物晶体、负晶等
红柱石	二轴(－)	黄绿色、黄褐色等	1.634～1.643	0.007～0.013	强，褐黄—褐绿—褐橙	3.17 二碘甲烷中上浮	磷灰石等晶体包体和金红石针状包体

四、托帕石的质量评价

从颜色来看，深红色的托帕石价值最高，质优者价格昂贵。其次是粉红色，再就是蓝色和黄色。无色托帕石价值最低。

托帕石中常含气—液包体和裂隙，含包体多者则价格低。

优质的托帕石应具有明亮的玻璃光泽，若加工不当会导致光泽暗淡，影响宝石的价格。

五、托帕石的产状、产地简介

托帕石是典型的气成热液矿物。托帕石主要产于花岗伟晶岩中，其次产于云英岩和高温气成热液脉及酸性火山岩的气孔中，共生矿物有石英、电气石、萤石、白云母、黑钨矿和锡石等。砂矿型托帕石矿床也是很重要的成因类型。

世界上绝大部分托帕石产在巴西花岗伟晶岩中。另外在斯里兰卡、原苏联乌拉尔山、美国、缅甸和澳大利亚等地也有发现。我国内蒙古、江西和云南等地也产托帕石。内蒙古的托帕石产于白云母型和二云母型花岗伟晶岩中，与绿柱石、独居石等矿物共生。江西的托帕石属气成高温热液成因，多富集于矿脉较细的支脉内，与石英、白云母、长石、黑钨矿、绿柱石等共生。产于云英岩化花岗岩中的托帕石常与萤石共生，有时则聚集成脉。

第十三节 橄榄石

橄榄石是一种古老的宝石品种，古埃及人在公元前一千多年前就用它做饰物；古罗马人称它为“太阳的宝石”，并用作护身符，以驱除邪恶。至今，橄榄石仍以其独有的草绿色和柔和的光泽在珠宝王国占有一席重要之地。橄榄石是八月生辰石。

一、橄榄石的基本性质

（一）矿物名称

橄榄石（Peridot），在矿物学中属橄榄石族。

（二）化学成分

橄榄石的化学成分为$(Mg, Fe)_2SiO_4$，可含微量元素Mn、Ni、Ca、Al、Ti等。在矿物学中橄榄石族分为三个亚族：镍橄榄石Ni_2SiO_4、橄榄石$(Mg, Fe)_2SiO_4$、锰橄榄石Mn_2SiO_4。宝石学中所指的橄榄石即橄榄石亚族$(Mg, Fe)_2SiO_4$，主要是镁铁类质同象系列。按其中铁含量高低可分成六个亚种：镁橄榄石、贵橄榄石、透橄榄石、镁铁橄榄石、铁镁橄榄石、铁橄榄石（见表3-1-36），但是用作宝石材料的橄榄石只有镁橄榄石和贵橄榄石，作为宝石种可统称为橄榄石。

表3-1-36 橄榄石矿物亚种的划分

名称 / 成分	镁橄榄石	贵橄榄石	透橄榄石	镁铁橄榄石	铁镁橄榄石	铁橄榄石
Mg_2SiO_4 / %	100～90	90～70	70～50	50～30	30～10	10～0
Fe_2SiO_4 / %	0～10	10～30	30～50	50～70	70～90	90～100

（三）晶系及结晶习性

橄榄石属斜方晶系，晶体结构的特点是硅氧骨干为孤立的硅氧四面体 SiO_4，氧离子平行（010）成近似六方最紧密堆积，硅离子充填 1/8 四面体孔隙中，阳离子（Mg^{2+},Fe^{2+}）充填 1/2 的八面体孔隙，（Mg,Fe）O_6 组成的八面体平行 *X* 轴联结成锯齿状链。完好晶体沿 *Z* 轴呈短柱状，主要单形有斜方柱（*m*、*n*、*l*、*g*、*p*）、平行双面（*a*、*b*、*c*）、斜方双锥（*o*）（见图 3-1-359、图 3-1-360），但完好晶形少见，大多数呈粒状。

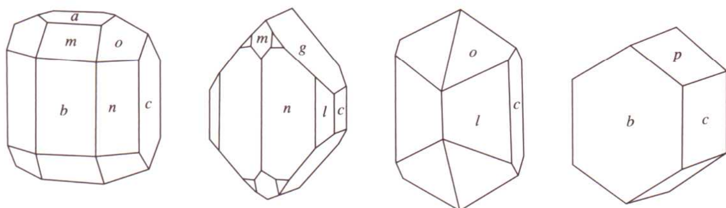


图 3-1-359 橄榄石的晶形



图 3-1-360 橄榄石晶体

（四）光学性质

1. 颜色

橄榄石的颜色是中到深的草绿色（略带黄的绿色，亦称橄榄绿见图 3-1-361），部分偏黄色（绿黄色），少量的有褐绿色，甚至绿褐色。色调主要随含铁量多少而变化，含铁量越高，颜色越深；褐色调可能是轻度水化引起的，也可能是微量成分 Mn 引起的。橄榄石的颜色是其本身所含的铁等化学成分所致，是一种自色矿物，颜色稳定。

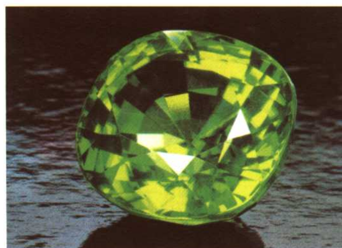


图 3-1-361 橄榄石

2. 透明度与光泽

橄榄石大部分透明，部分因含固、液、气态包体或因密集的裂隙而呈半透明。玻璃光泽。

3. 光性

橄榄石为二轴晶，光轴角很大（$2V$=82°～134°）。当铁橄榄石分子含量少时为二轴晶正光性，当铁橄榄石分子大于 12% 时变为负光性。

4. 折射率与双折射率

折射率为 1.654～1.690（± 0.020），其大小随成分中铁的含量增加而增大。双折射率 0.035～0.038，常为 0.036（褐色品种为 0.038），所以通过台面可以非常清楚地看到对面棱线的双影。

5. 色散

橄榄石具中等色散，为 0.020，切磨质量高时，可见火彩。

6. 多色性

橄榄石多色性总体来说较弱，对深绿色品种来说，只有借助二色镜才能见到微弱的三色性，呈黄绿色—弱黄绿色—绿色；浅色品种几乎看不到多色性；褐色品种可显示褐—淡褐—深褐多色性。

7. 发光性

在长、短波紫外光照射下无荧光、磷光反应。

8. 吸收光谱

在蓝区和蓝绿区有三个等距离的铁的吸收带，分别在453nm、477nm和497nm处（见图3-1-362）。

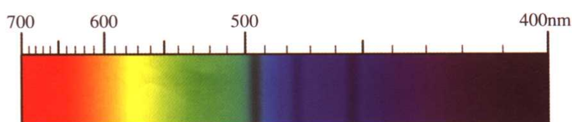


图3-1-362 橄榄石的吸收光谱

（五）力学性质

1. 解理

{010}解理中等，{001}解理不完全，脆性较大。

2. 硬度

摩氏硬度为6.5～7，随含铁量的增加而略有增大。

3. 密度

密度为3.34(＋0.14，－0.07)g/cm³，其大小随含铁量增加而相应增大。我国河北张家口橄榄石从浅绿色品种到深褐绿色品种，其密度从3.29g/cm³增加到3.36g/cm³；美国亚利桑那州所产橄榄石的密度也随其颜色从浅到深，密度从3.28g/cm³增加到3.38g/cm³。

（六）内外部显微特征

放大检查下，可见橄榄石含有丰富的包体，大致有以下几类：

1. 深色矿物包体

橄榄石中常见矿物包体，有的用肉眼即可观察到黑色铬铁矿和深红褐色铬尖晶石等，这些固体包体周围常伴有盘状应力纹，或者是气液包体，称之“睡莲叶”状包体（见图3-1-363）。

2. 负晶

橄榄石中常见负晶存在，负晶周围往往形成圆盘状裂隙和气液包体，同样也称之“睡莲叶”状包体（见图3-1-364）。

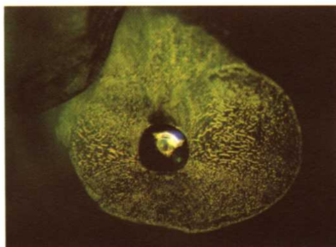


图3-1-363 铬铁矿包体与气液包体组成的“睡莲叶”状包体

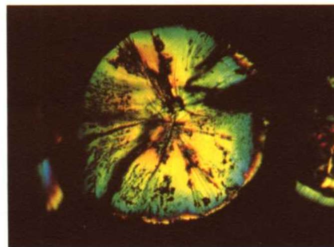


图3-1-364 负晶与圆盘状裂隙组成的“睡莲叶”状包体

3. 气液包体

橄榄石中可以见到一些针状、柱状、拉长的两头尖的针柱状液态包体，它们沿一定方向排列，其中可见圆形气泡（推测为CO_2）。

4. 云雾状包体

橄榄石中云雾状包体很多，有时使橄榄石呈现乳白色半透明状，这些云雾状包体是由气泡集合体组成的，可能是因为橄榄石随玄武岩带到地表后，由于温度压力的骤降，发生固—液不混溶所造成，也可能是位错造成。

二、橄榄石的鉴定特征

橄榄石因为其独特的物理性质而比较容易鉴定。首先是其特征的橄榄绿色，它与几乎所有的绿色矿物的特征都不同，而且橄榄石多色性微弱，这在中—深颜色的非均质矿物晶体中是很少见的现象；其次是其较强的双折射，用放大镜很容易观察到对面棱线的重影；第三，橄榄石的折射率为1.654～1.690(± 0.020)，在折射仪上很容易测定。

三、橄榄石与相似宝石的鉴别

与橄榄石类似的矿物有绿色碧玺、锆石、透辉石、硼铝镁石、金绿宝石和钙铝榴石等，区别如下：

1. 绿色碧玺

与绿色碧玺的区别在于后者有较强的多色性，往往用肉眼即觉察颜色差异，而且折射率（1.624～1.644）和密度（3.06g/cm^3）均较低。

2. 绿色锆石

与绿色锆石的区别在于后者：①具亚金刚光泽和很强的色散，看起来比橄榄石明亮；②具高得多的折射率（1.925～1.984）和密度（4.7g/cm^3）；③绿色锆石与橄榄石吸收谱线明显不同。

3. 绿色透辉石

与绿色透辉石最易混淆，透辉石的折射率在1.67～1.70范围内，颜色也与橄榄石十分近似，但透辉石双折射率较小（0.02～0.03），密度较低（3.29g/cm^3），在二碘甲烷溶液中透辉石上浮，而橄榄石缓慢下沉。

4. 硼铝镁石

与硼铝镁石（又称褐色锡兰石）在颜色上极易混淆，以至于多年来常将褐色色调的硼铝镁石看作一种橄榄石，而实际上硼铝镁石是一种镁铝的硼酸盐矿物，两者有质的不同。硼铝镁石的折射率为1.668～1.707，双折射率为0.036～0.039，它基本与橄榄石相同，主要区别在于硼铝镁石多色性较明显，密度较大（3.48g/cm^3），在蓝区和蓝绿区有493nm、475nm、463nm和452nm处4条吸收带（见图3-1-365）。

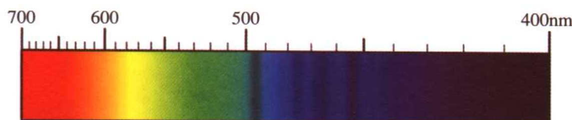


图3-1-365　硼铝镁石的吸收光谱

5. 金绿宝石

与金绿宝石的区别在于后者折射率（1.746～1.755）和密度（3.73g/cm^3）明显较高。

6. 钙铝榴石

与钙铝榴石的区别是后者折射率（1.74）和密度（3.61g/cm^3）明显较高，而且属均质体

而无双折射现象和多色性。

近年来，有人用绿色合成刚玉、草绿色合成立方氧化锆、绿玻璃和绿色合成尖晶石来冒充橄榄石，但是若稍加小心也容易鉴别它们。绿色合成刚玉和草绿色合成立方氧化铝有较高的折射率和明显大的密度；绿玻璃和绿色合成尖晶石都属均质体，都无多色性和双影现象，而且绿玻璃通常折射率较小，而绿色合成尖晶石折射率较大（1.728）。

四、橄榄石的质量评价

（1）颜色

橄榄石的颜色要求纯正，以中—深绿色为佳品，色泽均匀，有一种温和绒绒的感觉为好；越纯的绿色价值越高。

（2）净度

橄榄石中往往含有较多的黑色固体包体和气液包体，这些包体都直接影响橄榄石的质量评价，当然没有任何包体和裂隙的为佳品，含有无色或浅绿色透明固体包体的质量较次，而含有黑色不透明固体包体和大量裂隙的橄榄石则几乎无法利用。

（3）重量

大颗粒的橄榄石并不多见，半成品橄榄石多在3ct以下，3～10ct的橄榄石少见，因而价格较高；而超过10ct的橄榄石则属罕见。据记载，产自红海的一粒橄榄石重310ct，缅甸产的一粒绿色刻面宝石重达289ct，最漂亮的一粒绿黄色宝石重192.75ct。

五、橄榄石的产地、产状简介

（一）宝石级橄榄石的主要产地

世界上出产宝石级橄榄石的国家有：埃及、缅甸、印度、美国、巴西、墨西哥、哥伦比亚、阿根廷、智利、巴拉圭、挪威、俄罗斯以及中国。其中埃及的扎巴贾德岛（Zabargad）自古以来就是世界上优质宝石级橄榄石的主要产地，特别是在岛上的若干晶洞内曾发现过非常美丽的中等至深绿色橄榄石晶体。缅甸的抹谷地区是世界上宝石级橄榄石的一个重要产地，其晶体呈深绿、绿或淡绿色，其中有些晶体相当大，加工成的刻面型宝石重达100ct以上。美国的亚利桑那州出产世界上呈淡绿色至中等棕色、小颗粒的宝石级橄榄石。巴西的米纳斯吉拉斯州北部出产滚圆卵石状的橄榄石。墨西哥的奇瓦瓦州分布有世界上一个大型橄榄石矿床，其橄榄石呈褐色。

中国著名产地有河北、山西、吉林等地。河北橄榄石主要分布于张家口地区万全一带，在大地构造上位于内蒙古台背斜与燕山沉陷带的接合部位，其矿床规模大，宝石级橄榄石质量好。山西橄榄石发现于天镇一带，地处河北万全之西南，在地质构造上两地有密切的联系。吉林省橄榄石主要分布于蛟河市大石河一带的林区。

（二）宝石级橄榄石的产状

宝石级橄榄石主要产于玄武岩包体中及超基性岩体内的脉体中。

1. 产于玄武岩包体中

我国著名的宝石级橄榄石产地——河北大麻坪和吉林蛟河所产的橄榄石都属这种类型，山西和内蒙古也有这种类型橄榄石宝石矿床发现。

我国东部大陆地区，广泛分布着新生代玄武岩，它们的分布受裂谷构造控制。橄榄岩包

体主要赋存于碱性—过碱性玄武岩中（以碧玄岩和橄榄玄武岩为主），见于火山口附近，是玄武岩流从地球深部带到地表的幔源包体。包体种类繁多，但以尖晶石二辉橄榄岩为主，其次是石榴石二辉橄榄岩和纯橄岩等。

宝石级橄榄石在幔源包体中的产出状态有如下特征（以河北大麻坪为例）：

1）当二辉橄榄岩为粗粒结构时，内部往往有宝石级橄榄石产出，这种包体容易风化，一击即碎，容易采集。

2）颗粒较大的橄榄石在包体中往往呈条带状分布，有时也呈不规则团块状产出。

3）橄榄石颗粒大小十分悬殊，最小可小于0.5mm，最大可达20mm以上。不过大多数颗粒在10mm以下，超过10mm的很少。

当今世界上最主要的宝石级橄榄石原料产地——美国亚利桑那州圣长路斯所产的橄榄石也属这种成因类型。

2. 产在橄榄岩中的热液型脉体中

属于这种类型的橄榄石矿床中，最著名的就是享誉世界的红海扎巴贾德岛。在原苏联的萨彦岭阿尔卑斯型超基性岩体和西伯利亚地台北部库格达地区的超基性—碱性侵入体中，也有含宝石级橄榄石的脉和网脉产出。

扎巴贾德岛几乎全部由橄榄岩组成，包括尖晶石二辉橄榄岩、斜长石橄榄岩和角闪石橄榄岩等。在岛南部强烈蛇纹石化地段有大量富含宝石级橄榄石的脉体产出。橄榄石呈放射状集合体的形式产出，也有呈网脉状产出，部分晶体生长在张性裂隙上。橄榄石呈浅黄绿色—深绿色。

第十四节　磷 灰 石

磷灰石具有受热后发出磷光的特性（古代民间称之为“灵光”或“灵火”），传说人们佩戴它便可以使自己的心扉与神灵相通，因而受到人们的喜爱。优质的磷灰石可作为中档宝石。

一、磷灰石的基本性质

（一）矿物名称

磷灰石（Apatite），在矿物学中属于磷灰石族。

（二）化学成分

磷灰石是钙的磷酸盐，化学式为$Ca_5(PO_4)_3(F,OH,Cl)$。其中Ca^{2+}常被Sr^{2+}、Mn^{2+}离子取代，$(PO_4)^{3-}$阴离子团常被$(SO_4)^{2-}$、$(SiO_4)^{4-}$、$(VO_4)^{2-}$等络阴离子团取代，附加的阴离子数量和种类亦常常有所变化，根据附加离子可以分为氟磷灰石、氯磷灰石、羟磷灰石和碳磷灰石，作为宝石的磷灰石常为氟磷灰石。磷灰石还常含有微量的Ce、U、Th等稀土元素，可以产生磷光现象。

（三）晶系及结晶习性

磷灰石属六方晶系。主要单形：六方柱$m\{10\bar{1}0\}$、$h\{11\bar{2}0\}$，六方双锥$x\{10\bar{1}1\}$、$s\{11\bar{2}1\}$、$u\{21\bar{3}1\}$及平行双面$c\{0001\}$（见图3-1-366）。晶体常呈六方柱状、板状，一些晶

体还可见发育完好的六方双锥（见图3-1-367），集合体呈粒状、致密块状。

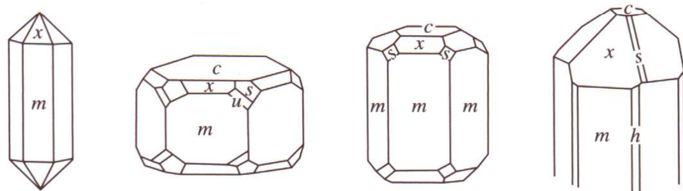


图3-1-366 常见磷灰石的理想晶形



图3-1-367 黄色、蓝色磷灰石晶体

（四）光学性质

1. 颜色

常见的颜色有黄至浅黄色、蓝色、绿色、浅绿色、紫色、紫红色、粉红色、无色等（见图3-1-368）。无杂质者为无色透明，磷灰石的颜色多样性与其所含的稀土元素的种类及含量密切相关。



图3-1-368 各种颜色的磷灰石宝石

2. 光泽及透明度

磷灰石具玻璃光泽，断口油脂光泽。各种颜色的磷灰石通常为透明，一些具有猫眼效应的磷灰石可呈半透明。

3. 光性特征

非均质体，一轴晶，负光性。

4. 折射率与双折射率

磷灰石的折射率为1.634～1.638(+0.062，－0.006)，双折射率为0.002～0.008，多为0.003，折射仪上易出现假一轴晶现象。磷灰石的折射率常因成分的变化而有一定变化范围。磷灰石的双折射率同样也随成分变化而变化，其中氯磷灰石最低，小于或等于0.001，氟磷灰石为0.004，羟磷灰石为0.007，碳磷灰石为0.008，碳氟磷灰石最高可达0.013。

5. 多色性

蓝色的磷灰石多色性强，为蓝—黄色至无色；其他颜色的磷灰石多色性弱至极弱。

6. 发光性

磷灰石的紫外荧光的颜色因体色不同而不同，有的品种加热后可出现磷光。

黄色磷灰石　在长波和短波紫外光下呈紫粉红色荧光，其中长波的荧光较短波强。

蓝色磷灰石　在长、短波紫外光下发蓝色—浅蓝色荧光。

紫色磷灰石　长波下发绿黄色荧光，短波下发淡紫红色荧光。

绿色磷灰石　长、短波下发带绿色色调的深黄色荧光，长波荧光强于短波。

7. 吸收光谱

黄色、无色及具猫眼效应的磷灰石见有特征的580nm双线（见图3-1-369）；蓝色和绿色的磷灰石显示稀土元素的混合吸收谱，主要为512nm、491nm、464nm处的吸收带。

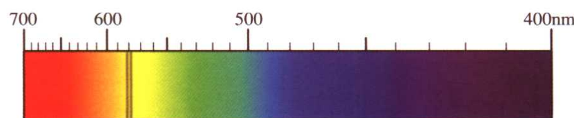


图3-1-369 磷灰石吸收光谱

（五）力学性质

1. 解理

磷灰石解理不发育，{0001}、{10$\bar{1}$0}不完全解理，断口不平坦，亦可见贝壳状断口，性脆。

2. 硬度

磷灰石的摩氏硬度为5，一些厚板状的磷灰石晶体硬度偏低，可为3～4。

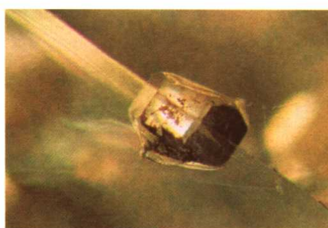
3. 密度

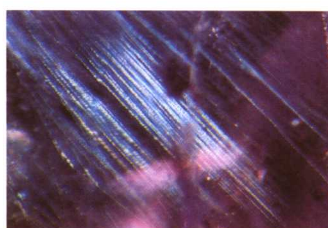
磷灰石的密度在3.13～3.23g/cm^{3}之间变化，宝石级磷灰石常见的实测值为3.18g/cm^3，磷灰石的密度值的变化与其成分上的类质同象代换有关，特别是稀土元素的类质同象代换对磷灰石的密度影响尤为明显。此外，由于大量矿物包体的存在也可使密度值升高，如坦桑尼亚的磷灰石猫眼，密度值达3.35g/cm^3。

（六）内外部显微特征

磷灰石是一个典型的贯通矿物，在变质岩、沉积岩、岩浆岩中均有产出。内部包体的类型也很多，常见的包体类型有结晶矿物包体、气液包体（见图3-1-370）、负晶（见图3-1-371）管状包体（见图3-1-372）以及生长结构等。磷灰石中的常见矿物包体有方解石、赤铁矿、电气石等。其中，墨西哥产的黄绿色磷灰石中常见包体有深绿色电气石的针状包体；巴西产的深蓝色磷灰石中还常包裹圆形的气泡群，这种气泡群被认为是岩浆的残余物；此外，美国缅因州产的紫色磷灰石还常见纤维状的生长管道；坦桑尼亚的黄绿色磷灰石还常见有密集的定向裂隙，这种裂隙还可导致猫眼效应。


图3-1-370　磷灰石中的气液包体


图3-1-371　磷灰石中的负晶


图3-1-372　磷灰石中的管状包体

（七）特殊光学效应

因磷灰石内常具有纤维状生长管状包体或密集定向的裂隙而产生猫眼效应（见图3-1-373）。


图3-1-373　磷灰石猫眼

二、磷灰石的品种

从矿物学角度而言，可根据进入磷灰石内部结构的附加阴离子的不同，将磷灰石划分成

许多亚种，如含有F^-阴离子的为氟磷灰石，含有CO^{2-}_3为碳磷灰石，含有Cl^-为氯磷灰石，含有OH^-为羟磷灰石等等。不同亚种的磷灰石其物理性质略有不同。宝石学上磷灰石是以颜色及是否具有猫眼等特殊光学效应来划分品种的，主要品种有：蓝色磷灰石、绿色磷灰石、黄色磷灰石、紫色磷灰石、褐色磷灰石、磷灰石猫眼。

由于磷灰石的颜色常常与其产地密切相关，因此磷灰石的品种也常常与其产地联系在一起。天蓝色的磷灰石来自马达加斯加，墨西哥的磷灰石为黄绿色，印度磷灰石为绿色等。

三、磷灰石与相似宝石的鉴别

磷灰石属常见宝石，磷灰石的最大特点硬度较低，因此宝石刻面棱线出磨损较重，一般采用常规的宝石鉴定方法即可进行鉴别。在鉴定中应精确测定其折射率值、密度值、观察其特征吸收谱线。当常规宝石学鉴定方法难以确定时，可采用红外光谱法直接获得磷灰石的谱图，当样品不能测定折射率及密度值时，红外光谱法是最简便快捷、最准确的鉴定方法。

易与磷灰石相混淆的宝石有：

1）碧玺　碧玺的折射率为1.62～1.64，双折射率为0.02～0.04，而磷灰石的双折射率为0.002～0.008，多为0.003，据此可很快将二者区分开。

2）绿柱石　绿柱石折射率为1.577～1.583，密度2.72g/cm³，均低于磷灰石，可与之区分。

3）托帕石　托帕石密度为3.53g/cm³左右，高于磷灰石，托帕石没有特征吸收光谱，双折射率为0.008～0.010，略高于磷灰石。

4）赛黄晶　按照各自密度的差异可将磷灰石与赛黄晶区别开。磷灰石在密度为3.06的重液下沉，赛黄晶浮起。也可根据磷灰石特征的580nm双吸收线与赛黄晶区分。

四、磷灰石的质量评价

宝石级磷灰石要求颜色均匀、纯正、鲜艳，透明度好，无裂纹及其他缺陷。粒径或块度大者为佳。某些晶体即使透明度较差，能具有猫眼效应也可提高其价值。

五、磷灰石的产状、产地简介

表3-1-37 不同品种的磷灰石主要产地简表

品种	产地
蓝色磷灰石	马达加斯加、缅甸、斯里兰卡、巴西
蓝绿色磷灰石	挪威、南非
紫色磷灰石	德国、美国缅因州及加利福尼亚州
黄色磷灰石	墨西哥杜兰戈州、西班牙、加拿大、巴西、中国
绿色磷灰石	印度、加拿大、莫桑比克、马达加斯加、西班牙、缅甸
褐色磷灰石	加拿大
无色磷灰石	缅甸、意大利、德国、中国
蓝绿色磷灰石猫眼	斯里兰卡、缅甸
绿色磷灰石猫眼	巴西
黄色磷灰石猫眼	斯里兰卡、坦桑尼亚、中国

磷灰石是典型的多成因矿物，在岩浆岩、伟晶岩、变质岩、沉积岩等多种岩石类型中均可有产出。宝石级磷灰石主要产于伟晶岩及各种岩浆岩中，在变质岩和沉积岩中也可有少量的宝石级磷灰石产出。

世界上出产宝石级磷灰石的国家有缅甸、斯里兰卡、印度、美国、墨西哥、巴西、加拿大、挪威、前苏联、西班牙、葡萄牙、意大利、前捷克斯洛伐克、德国、马达加斯加、坦桑尼亚、肯尼亚、中国等（见表3-1-37）。

中国已在内蒙古、河北、河南、甘肃、新疆、云南、江西、福建等地发现磷灰石，其中有的磷灰石结晶完好，晶体较大。内蒙古的宝石级磷灰石主要产于透辉石伟晶岩脉和花岗伟晶岩脉中。新疆的宝石级磷灰石主要产于可可托海花岗伟晶岩中。

第十五节　堇青石

堇青石（Cordierite或Iolite，Dichroite）来自希腊文中的Violet，寓意其呈紫罗兰色，它的另一个矿物名称是Cordierite，是为了纪念法国地质学家科尔迪埃（P L A Cordier，1777～1861年），这个字仅用在矿物学中。Dichroite来自希腊文“双色”（指宝石具有很强的多色性）。由于堇青石有像蓝宝石一样的蓝色，有人称之为“水蓝宝石”（Water sapphire）。

一、堇青石的基本性质

（一）矿物名称

堇青石（Iolite），在矿物学上属绿柱石族。

（二）化学成分

堇青石的化学成分为$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$，可含有Na、Ca、K、Fe、Mn等元素及H_2O，其中Mg和Fe可形成完全的类质同象替代。自然界中，绝大多数堇青石是富Mg的，因为Mg^{2+}更容易进入堇青石的晶格。此外堇青石中含有一定量的特殊类型的结构水，存在于堇青石的平行Z轴的结构通道之中。

（三）晶系及结晶习性

堇青石属斜方晶系，晶体呈短柱状，高温时属六方晶系，常呈假六方柱外形（见图3-1-374）。常见双晶。

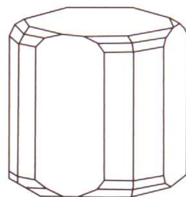


图3-1-374 堇青石常见理想晶形

（四）光学性质

1. 颜色

堇青石的颜色很丰富，宝石级品种最吸引人的颜色为蓝色和蓝紫色，一般只有这两种颜色的堇青石可用作宝石。堇青石也可呈无色、微黄白色、绿色、褐色和灰色等（见图3-1-375）。



图3-1-375 堇青石戒面

2. 光泽及透明度

堇青石具有玻璃光泽。透明至半透明。

3. 光性

二轴晶，正光性，但有时为负光性。$2V$=76°(+)/42°(−)。

4. 折射率与双折射率

折射率：1.542～1.551(+0.045，−0.011)；双折射率：0.008～0.012。

堇青石的折射率与其成分中Mg和Fe的比例有关，当富Mg时，折射率偏低，而富Fe时折射率则偏高。

5. 多色性

堇青石的色散微弱（0.017），但多色性很强。肉眼可见，如果从不同方向观察，可看到不同的颜色（见图3-1-376）。堇青石的颜色和多色性可以把它与其他在此折射率范围内的宝石相区别。



图3-1-376 堇青石的多色性

6. 发光性

无。

7. 吸收光谱

堇青石的吸收光谱因其结晶方向不同而略有变化。堇青石的吸收光谱为Fe的吸收谱，在426nm和645nm处有弱的吸收带。

（五）力学性质

1. 解理

堇青石具有一组{010}完全解理。

2. 硬度

摩氏硬度为7～7.5。

3. 密度

堇青石的密度为2.61(±0.05)g/cm³，密度值随Fe的含量增多而逐渐变大。

（六）内外部显微特征

堇青石中常见的矿物包体有赤铁矿或针铁矿、磷灰石、锆石及气液包体等。其中斯里兰卡产的一种堇青石包体主要为赤铁矿和针铁矿，颜色为红色，绝大多数颗粒呈板状和针状，并呈定向排列，当包体大量出现时可使堇青石呈现红色，这种堇青石又被称为“血滴堇青石”（Bloodshot）（见图3-1-377）。此外，堇青石中可出现颜色分带，并具有气液包体。

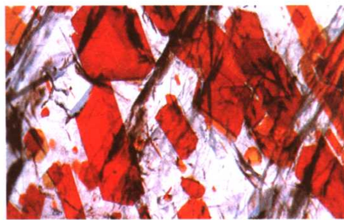


图3-1-377 堇青石中的赤铁矿包体

（七）特殊效应

堇青石由于内部包体的分布可以出现罕见的星光效应、猫眼效应和砂金效应。

二、堇青石与相似宝石的鉴别

与堇青石相似的宝石有蓝宝石、紫晶、方柱石、碧玺、坦桑石等。

1. 蓝宝石

蓝宝石的折射率为1.762～1.770，密度4.00g/cm³左右，都高于堇青石。

2. 紫晶

紫晶只有蓝紫、红紫和浅紫色，密度略高于堇青石为2.66g/cm^3，且紫晶为一轴晶正光性，有“牛眼”干涉图。

3. 方柱石

方柱石为一轴晶，而堇青石为二轴晶；方柱石多色性比堇青石弱。

4. 碧玺

碧玺折射率高于堇青石，为1.62～1.64，密度也高于堇青石，为3.06g/cm^3。

5. 坦桑石

坦桑石折射率为1.691～1.700，密度为3.35g/cm^3，均高于堇青石。

三、堇青石的产状、产地简介

堇青石是典型的变质矿物，主要产于片麻岩、片岩及蚀变火成岩中，宝石级堇青石主要赋存于富镁的蚀变岩中。

宝石级堇青石的主要产地有：斯里兰卡、马达加斯加、美国（加利福尼亚、爱达荷州、怀俄明州）、加拿大、格陵兰、苏格兰、英格兰、挪威、德国、芬兰、以及坦桑尼亚、纳米比亚等地。

第十六节　红 柱 石

红柱石与蓝晶石、矽线石为同质多象变体。其英文名称（Andalusite）来自矿物的首次发现地——西班牙的安达卢西亚（Andalusia），但直至在斯里兰卡、特别是在巴西发现宝石级红柱石后，人们才第一次将红柱石归入宝石类别中。

一、红柱石的基本性质

（一）矿物名称

红柱石（Andalusite），在矿物学中属于红柱石族。



图3-1-378 空晶石原石，可以看到横断面上的黑十字

（二）化学成分

红柱石是一种岛状铝硅酸盐矿物，化学成分为Al_2SiO_5，可含有V、Mn、Ti、Fe等元素，其中Al^{3+}常被Fe^{3+}，Mn^{2+}替代，一些红柱石在生长过程中还可以捕获细小石墨及粘土矿物的颗粒，并可在红柱石内部呈定向排列，在其横断面上形成黑十字，而纵断面上呈与晶体延长方向一致的黑色条纹，这样的红柱石被称为空晶石（见图3-1-378）。红柱石、矽线石和蓝晶石3种矿物，有相同的化学组成(Al_2SiO_5)，但却具有不同的晶体结构，因此物理性质稍有不同。



图3-1-379 集合体红柱石——菊花石

（三）晶系及结晶习性

红柱石为斜方晶系。通常为柱状晶体，晶体的横断面几乎呈正方形。红柱石的柱状集合体常呈粒状、放射状，形似

菊花，又称为菊花石（见图3-1-379）。

（四）光学性质

1. 颜色

红柱石颜色褐绿色、黄褐色，也有绿色、褐色、粉色、紫色等（见图3-1-380）。

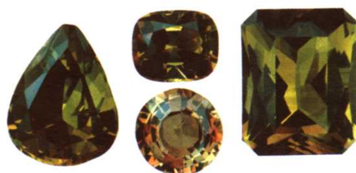


图3-1-380 常见的褐绿、褐红色红柱石刻面

2. 光泽及透明度

红柱石为玻璃光泽。宝石级红柱石透明至半透明，影响透明度的主要因素是内部的包体。

3. 光性

红柱石为二轴晶，负光性。

4. 折射率与双折射率

红柱石的折射率值在1.634～1.643(±0.005)，近无色的红柱石折射率较低，靠近上述范围的低值，绿色的红柱石折射率值则靠近高值。锰红柱石的折射率值受Mn^{3+}类质同象替代的影响可高达1.66～1.69。红柱石的双折射率为0.007～0.013，锰红柱石的双折射率为0.029。

5. 多色性

红柱石的多色性很强为三色性，肉眼可见。通常为褐黄绿、褐橙和褐红色。

6. 发光性

通常红柱石在长波紫外光下无荧光。马萨诸塞州产的红柱石在短波紫外光下可有褐色的荧光，巴西产的褐绿色红柱石在短波紫外光下呈深绿色或黄绿色荧光。

7. 吸收光谱

绿色、淡红褐色的红柱石显铁的吸收谱，在436nm和445nm处吸收，由Mn致色的深绿色红柱石可在黄—绿区555.3nm、550.5nm，绿区547.5nm和蓝—绿区518nm、595nm，紫区455nm有吸收带。

（五）力学性质

1. 解理

红柱石可见一组平行{110}方向的中等解理，断口呈参差状。

2. 硬度

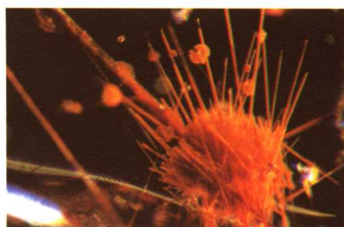
摩氏硬度为7～7.5。

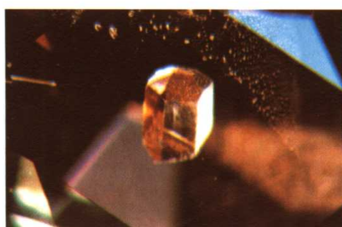
3. 密度

红柱石密度随成分不同也有一个变化范围，一般为3.13～3.60g/cm³，宝石级红柱石常见的密度实测值为3.17(±0.04)g/cm³。

（六）内外部显微特征

红柱石包体主要为磷灰石、金红石、白云母、石墨及各种粘土矿物。一些矿物包体还具有十分完整而特征晶形，如短柱状磷灰石微晶和针状金红石等等，气液包体也是红柱石中常见的包体（见图3-1-381、图3-1-382），此外在显微镜下还常见色带、解理、双晶纹等生长结构。空晶石中的包体为黑色炭质包体，呈十字形分布（见图3-1-378）。


图 3-1-381 红柱石中一个形似海胆的针状金红石晶体，有褐铁矿的次生覆膜


图 3-1-382 红柱石内的柱状磷灰石包体，其后有一愈合裂隙

二、红柱石的品种

根据物质组、结构特征、工艺美术等方面的差异，可将宝石级红柱石分为两个品种。

1. 普通红柱石

呈浅红、肉红、褐红、红褐、绿、深绿、黄、灰白等色，显玻璃光泽，透明至半透明。质优者可以加工成刻面型和弧面型宝石，后者可显示出猫眼效应。巴西、斯里兰卡、西班牙、美国、中国等国均有产出。

2. 空晶石

空晶石或短空晶石是红柱石的一个变种，为不透明矿物，在白色、灰色、微红色或浅褐色底色的中心，有十字形的暗色条带。这种十字形条带由炭杂质聚集而成，从晶体的一端伸向另一端，条带的大小和形态各不相同，在截面上可以看得很清楚（见图 3-1-383）。


图 3-1-383 空晶石

三、红柱石与相似宝石的鉴别

1. 电气石

电气石的密度和折射率变化范围与红柱石大致相同，但双折射率高，可见明显的重影现象；电气石具二色性，而红柱石具明显三色性。

2. 变石

变石折射率 1.746～1.755，密度为 3.73g/cm^3，均高于红柱石，变石在日光下可呈黄褐、灰、蓝绿色，在白炽灯下可呈橙、褐红至紫红色，可根据变石在日光和白炽灯光下颜色的变化来区分变石和红柱石。

3. 托帕石

托帕石密度为 3.53g/cm^3，高于红柱石，且无特征吸收光谱。

4. 赛黄晶

赛黄晶可能与不常见的粉红色红柱石相混淆，赛黄晶双折射率较低，为0.006，相当稳定。

四、红柱石的产状、产地简介

红柱石为富铝的岩石在低温高压变质作用下的产物，主要产于板岩、片岩或片麻岩当中。与矽线石、堇青石、石榴石等矿物共生，也有少量红柱石作为碎屑矿物产于伟晶岩和花岗岩中。红柱石产于河床及山坡下的砂矿之中，由红柱石的变质岩经风化搬运富集而成。

红柱石的主要产地有巴西（绝大部分为深绿色富锰的品种）、美国（加利福尼亚州、科罗

拉多州、新墨西哥州、宾夕法尼亚州、缅因州和马萨诸塞州)、东非、西班牙、斯里兰卡、缅甸，比利时有Fe致色的蓝色红柱石产出。

我国红柱石储量也较丰富，河南和山东年产量约8000t，另外北京西山盛产放射状红柱石——菊花石。2003年，我国目前最大的红柱石矿床在新疆被发现，经初步估算，该矿床远景资源量达2.13亿t。

第十七节 方 柱 石

1913年在缅甸发现宝石级方柱石之前，方柱石还仅仅是一种矿物并达不到首饰用要求。而今天，随着宝石级方柱石不断被发现，对于珠宝界而言方柱石已不再是一种陌生的宝石。

一、方柱石的基本性质

（一）矿物名称

方柱石（Scapolite），在矿物学中属于方柱石族。

（二）化学成分

方柱石的化学式为$(Na,Ca)_4[Al(Al,Si)Si_2O_8]_3(Cl,F,OH,CO_3,SO_4)$。方柱石为钠柱石$Na_4(AlSi_3O_8)_3(Cl,OH)$和钙柱石$Ca_4(Al_2Si_2O_8)_3(CO_3,SO_4)$完全类质同象的固溶体系列，其中间成员即为方柱石。在自然界尚未发现纯钙柱石或钠柱石；任一端员组分含量超过80%的都非常少见。类质同象替代通常是金属离子Na、Si替代Ca、Al，另外也产生于附加阴离子之间。随着成分中Ca的含量增多，折射率、双折射率和密度也增大。

（三）晶系及结晶习性

方柱石为四方晶系，柱状晶形，呈四方柱和四方双锥的聚形。沿Z轴延长，常带有丝状或纤维状外观，晶面常有纵纹（见图3-1-384)。集合体呈粒状、不规则柱状或致密块状。


图3-1-384 方柱石

（四）光学性质

1. 颜色

方柱石主要有紫色、粉色，常见有无色、黄色、橙色、绿色、蓝色、紫红色（见图3-1-385)。海蓝色者也称为“海蓝柱石”。

2. 透明度及光泽

透明—半透明，玻璃光泽。

3. 光性

一轴晶，负光性。

4. 折射率和双折射率

折射率为1.550～1.564(+0.015，－0.014)。双折射率为0.004～0.037。色散为0.017。


图3-1-385 紫色、黄色方柱石

5. 多色性

粉红、紫红色、紫色者具中—强多色性，蓝和蓝紫红；黄色者具弱—中多色性，呈现不同黄色色调。

6. 荧光

方柱石的紫外荧光与产地和颜色有关，无色和黄色者可有粉色到橙色的荧光。

7. 光谱特征

某些粉红色者在663nm和652nm有吸收线。

8. 特殊光学效应

可呈现猫眼效应（见图3-1-386）。

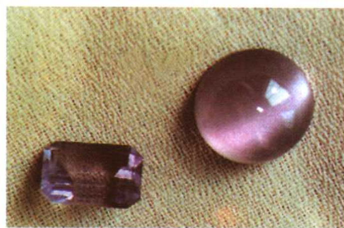


图3-1-386 方柱石猫眼

（五）力学性质

1. 解理

柱面解理：一组中等解理，一组不完全解理。

2. 硬度

摩氏硬度为6～6.5。

3. 密度

2.60～2.74g/cm^3，随钙含量增加而增大。

（六）内外部显微特征

常见平行Z轴的管状包体以及针状包体（见图3-1-387）、固体包体（见图3-1-388）、气液包体、负晶等。

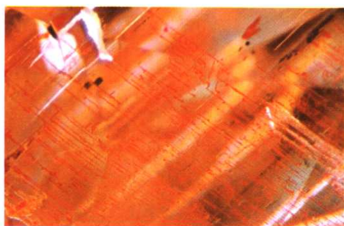


图3-1-387 方柱石中细长的针铁矿平行排列，可使黄色方柱石呈红色，也可产生猫眼效应

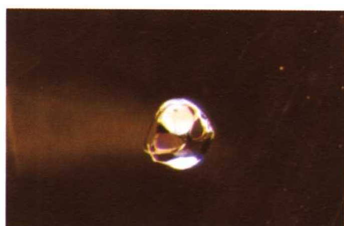


图3-1-388 方柱石中黄铁矿晶体包体

二、方柱石与相似宝石的鉴别

方柱石易于与石英、绿柱石类宝石相混，常规鉴定方法是通过折射仪测量宝石的光性和折射率，观察宝石的解理特征。石英为一轴晶正光性，而方柱石为一轴晶负光性；紫色方柱石与紫晶很相似，但紫色方柱石的折射率较低，为1.536～1.541；方柱石具有两组解理，而紫晶无解理。方柱石的折射率值与绿柱石类宝石折射率重叠时，方柱石的双折射率通常高于绿柱石，且方柱石有解理。

三、方柱石的优化处理

主要的优化处理方法是辐照处理，由无色或黄色方柱石辐照处理成紫色，辐照后颜色不

稳定，遇光会褪色。

四、方柱石的产状、产地简介

方柱石为气成作用产物，在火山岩的气孔中可见到晶簇状方柱石。更常见于钙质岩石的区域变质岩中，也有产于伟晶岩中的。产于区域变质岩中者质量较差，最好者产于火山岩与灰岩的接触变质带。方柱石经热液蚀变，可变为绿帘石、钠长石、沸石、云母等，在风化过程中可变为高岭石。宝石级方柱石产地有缅甸、马达加斯加、巴西、印度、坦桑尼亚、中国和莫桑比克。猫眼品种主要产于缅甸和中国。

第十八节 辉 石

辉石族矿物为重要的造岩矿物，主要出现在岩浆岩及变质岩中。

辉石是化学通式为$XY(Z_2O_6)$的一族单链状结构硅酸盐矿物的总称。其中X组阳离子为：Na^+、Ca^{2+}、Mn^{2+}、Fe^{2+}、Mg^{2+}、Li^+等；Y组阳离子为：Mn^{2+}、Fe^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{3+}、Cr、Al^{3+}、Ti等，其中Cr、Ti一般为Cr^{3+}、Ti^{4+}形式，但在还原条件下呈Cr^{2+}、Ti^{3+}形式；Z组离子主要为Si^{4+}，次要为Al^{3+}，少数情况下有Fe^{3+}、Cr^{3+}、Ti^{4+}等。上述各组阳离子的等价或异价、完全或不完全的类质同象替代十分广泛和复杂。从成分与结构的关系来说，辉石中X组阳离子的种类对晶体结构会产生显著的影响。当X为Fe、Mg等小半径阳离子时，一般为斜方晶系；当X为Na、Ca、Li等大半径阳离子时，往往为单斜晶系。据此，可将辉石族矿物划分为单斜辉石亚族和斜方辉石亚族。单斜辉石亚族主要有透辉石、钙铁辉石、普通辉石、霓辉石、霓石、硬玉、锂辉石等；斜方辉石亚族主要有顽火辉石、古铜辉石、紫苏辉石、铁紫苏辉石、尤莱辉石、斜方铁辉石等。

辉石晶体多数呈柱状；集合体常呈粒状或放射状。辉石颜色取决于成分中过渡元素含量的多寡，从白色、灰色或浅绿色到绿黑、褐黑以至黑色，随含铁量的增高而变深。玻璃光泽。摩氏硬度5～7，以硬玉和锂辉石最高。比重随成分而异，随含铁量增高而增大。辉石都具有平行柱面的完全解理，解理面相交成87°和93°。

一、锂辉石

锂辉石是提炼锂及其化合物的主要矿物，也是高级耐火材料。透明而呈淡紫色或祖母绿色的锂辉石分别称为紫锂辉石和翠绿锂辉石，可作宝石。

（一）锂辉石的基本性质

1. 矿物名称

锂辉石（Spodumene）（见图3-1-389）。



图3-1-389 锂辉石晶体

2. 化学成分

锂辉石的化学式为$LiAlSi_2O_6$，可有Cr、Mn、Fe、Ti、Ga、V、Co、Ni、Cu、Sn等微量元素。

3. 晶系及结晶习性

单斜晶系，晶体常沿Z轴呈短柱状，平行Z轴有条纹。横截面呈正方形。

4. 光学性质

(1) 颜色

有多种颜色，粉红色至蓝紫红色、绿色、黄色、无色、蓝色，通常色调较浅。宝石级锂辉石有两个重要变种，含Cr者呈翠绿色，称翠绿锂辉石；含Mn者呈紫色，称紫锂辉石（见图3-1-390）。



图3-1-390 紫色和黄色锂辉石

(2) 透明度及光泽

透明，玻璃光泽。

(3) 光性

二轴晶，正光性。

(4) 折射率及双折射率

折射率为1.660～1.676(±0.005)；双折射率为0.014～0.016；色散为0.017。

(5) 多色性

色深者较明显，粉红色—蓝紫红色者具有中等至强的三色性，分别为浅紫红、粉红、近无色；翠绿锂辉石具有中等强度的三色性，分别为深绿、蓝绿、淡黄绿色。

(6) 发光性

长波紫外光下粉红色—蓝紫红色锂辉石呈中—强粉红色至橙色荧光；短波紫外光下，荧光相对较弱，粉红色—橙色。

(7) 吸收光谱

Fe致色的黄绿色辉石有433nm、438nm吸收线（见图3-1-391），翠绿锂辉石在686nm、669nm和646nm处有Cr线，620nm附近有一宽吸收带（见图3-1-392）。

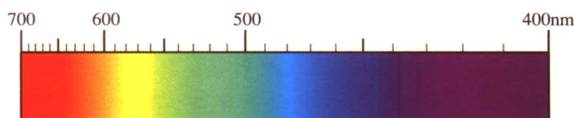


图3-1-391 黄绿色锂辉石的吸收光谱

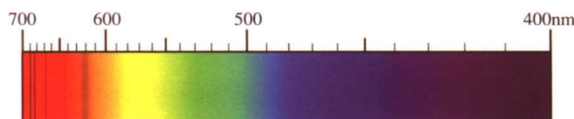


图3-1-392 绿色锂辉石的吸收光谱

(8) 特殊光学效应

锂辉石可呈现出星光效应和猫眼效应。

5. 力学性质

(1) 解理

两组{110}柱面解理完全，近直交；具参差状断口。

(2) 硬度

摩氏硬度为6.5～7。

(3) 密度

3.18(±0.03)g/cm^3。

6. 内外部显微特征

锂辉石内部常见气液包体（见图3-1-393）及解理造成的管状包体（见图3-1-394），也可见固态包体。



图3-1-393 巴西锂辉石中的三相内含物

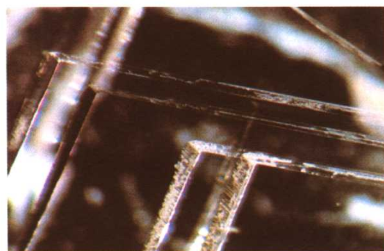


图3-1-394 巴西锂辉石中沿解理面形成的蚀刻管道

（二）锂辉石与相似宝石的鉴别

紫锂辉石具有特征的浅粉到蓝紫色，其他颜色的锂辉石外观上与石英、绿柱石、黄玉等较为相似，但根据折射率和密度值可将其区分开。与硅铍石和蓝柱石有相近的折射率，但锂辉石为二轴晶，而硅铍石为一轴晶。与蓝柱石则可通过双折射率和密度区分开。

（三）锂辉石的优化处理

无色或近于无色的锂辉石经辐照可转变为粉色，紫色锂辉石经辐射后可变为暗绿色，稍加热或见光会褪色；某些锂辉石经中子辐射后变为亮黄色。辐照产生的橙色、黄色、黄绿色锂辉石残留放射性，颜色稳定，不易检测。

（四）锂辉石的产地简介

锂辉石只见于富锂的花岗伟晶岩中，与其他含锂矿物共生。晶体往往很大，如新疆阿尔泰产出的晶体，重达36.2t。主要产地有巴西米纳斯吉拉斯州和美国北卡罗来那、加利福尼亚州，马达加斯加、中国等。其中巴西是黄、黄绿色锂辉石和紫锂辉石的主要产地。

二、透辉石

透辉石虽是一种常见的矿物，但达到宝石级者却很少。

（一）透辉石的基本性质

1. 矿物名称

透辉石（Diopside）。

2. 化学成分

透辉石的化学式为$CaMgSi_2O_6$，可含少量Cr、Fe、V、Mn等元素。

Mg可被Fe完全替代而成为钙铁辉石，含少量Cr的绿色透辉石称为铬透辉石。

3. 晶系及结晶习性

单斜晶系，柱状晶形，单晶较少见。

4. 光学性质

（1）颜色

常见蓝绿色至黄绿色、褐色、黑色、紫色、无色至白色，随Fe含量增多，颜色加深。铬

透辉石呈鲜艳绿色（见图 3-1-395）。

（2）透明度及光泽

透明至半透明，玻璃光泽。

（3）光性

二轴晶，正光性。

（4）折射率及双折射率

折射率为 1.675～1.701(+0.029，－0.010)，点测为 1.68 左右，折射率值随 Fe 含量增加而变大。双折射率为 0.024～0.030。色散为 0.013。



图 3-1-395 透辉石

（5）多色性

弱—强，颜色越深，三色性越明显。铬透辉石多色性为浅绿—深绿色。

（6）发光性

通常在长、短波紫外光下都呈惰性。绿色透辉石在长波紫外线下呈绿色，短波下无荧光。

（7）吸收光谱

具 505nm 吸收线，铬透辉石在 690nm 处有双线，此外 670nm、655nm 和 635nm 处可有吸收线（见图 3-1-396、图 3-1-397）。

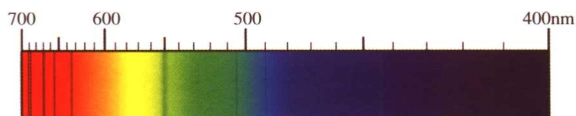


图 3-1-396 铬透辉石的吸收光谱

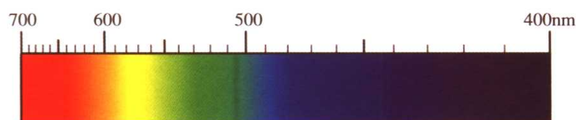


图 3-1-397 棕色透辉石的吸收光谱

（8）特殊光学效应

常见星光效应（四射星光）和猫眼效应，四射星光星线彼此不正交（见图 3-1-395、3-1-398）。



图 3-1-398 透辉石猫眼

5. 力学性质

（1）解理

两组{110}柱面解理完全，近直交；具贝壳状—参差状断口。

（2）硬度

摩氏硬度为 5.5～6.5。

（3）密度

3.29(+0.11，－0.07)g/cm^3，随 Fe 含量增多，密度值增大。

6. 内外部显微特征

可见气液包体及矿物包体，若含有大量定向排列的管状、片状包体时，可形成猫眼和四射星光。

（二）透辉石与相似宝石的鉴别

外观上，透辉石易与橄榄石、翠榴石、钒铬钙铝榴石、顽火辉石、电气石、金绿宝石、祖母绿和绿帘石相混淆，通过双折射率和光谱特征可区别橄榄石和顽火辉石，通过折射率和密度可与其他相似宝石相区别。

（三）透辉石的产地简介

宝石级材料产于缅甸抹谷和斯里兰卡的砾岩中，铬透辉石产于南非金伯利的钻石矿地区以及原苏联和芬兰。星光透辉石和透辉石猫眼主要产地有美国、芬兰、马达加斯加及缅甸。

三、顽火辉石

（一）顽火辉石的基本性质

1. 矿物名称

顽火辉石（Enstatite）。

2. 化学成分

顽火辉石化学式为$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$，可含有Ca、Al等元素，Fe与Mg替代率可达1∶1，Fe的质量分数低于5%时为顽火辉石，5%～13%为古铜辉石，高于13%为紫苏辉石。

3. 晶系及结晶习性

斜方晶系，柱状，完整晶形者少见。

4. 光学性质

（1）颜色

顽火辉石为特征的暗红褐色到褐绿或黄绿色（见图3-1-399）；偶见灰或无色品种。古铜辉石常为较特征的古铜色，有纤维状包体时，使其产生古铜状光泽。紫苏辉石常为灰绿色。

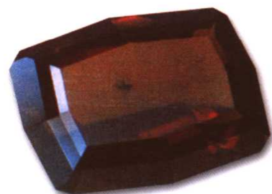


图3-1-399 暗红褐色顽火辉石

（2）透明度及光泽

透明—半透明，玻璃光泽，解理面上可见珍珠光泽。

（3）光性

二轴晶，正光性。

（4）折射率及双折射率

顽火辉石的折射率为1.663～1.673(±0.010)，成分中Fe含量越高，折射率值越大；双折射率为0.008～0.011。

（5）多色性

弱—中，多色性颜色为褐黄、黄至绿、黄绿色。

（6）发光性

紫外光下荧光惰性。

（7）吸收光谱

505nm处有一强吸收线，550nm处有一较弱吸收线（见图3-1-400、图3-1-401）。

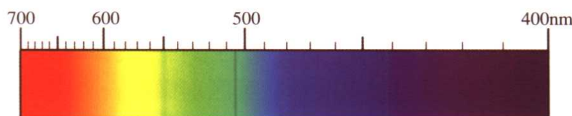


图 3-1-400 褐色顽火辉石吸收光谱

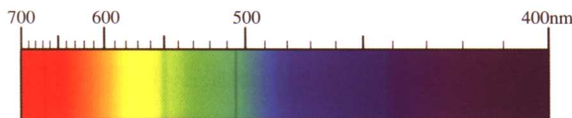


图 3-1-401 绿色顽火辉石吸收光谱

(8) 特殊光学性质

可呈现猫眼效应。具猫眼效应的顽火辉石一般呈棕褐色调，半透明。

5. 力学性质

(1) 解理

两组{110}柱面解理完全，平行底面方向常有裂理。具参差状断口。

(2) 硬度

摩氏硬度为5～6。

(3) 密度

3.25(＋0.15，－0.02)g/cm^3。

6. 内外部显微特征

可见气液包体及矿物包体，若含有大量定向包体时，可形成猫眼（见图3-1-402）。



图 3-1-402 顽火辉石猫眼

（二）顽火辉石与相似宝石的鉴别

顽火辉石易与金绿宝石、碧玺、橄榄石、透辉石、柱晶石等相混，通过折射率、双折射率和吸收光谱可以区分开；其较低的双折射率可与橄榄石和透辉石区分开；光谱特征和多色性可将其与柱晶石区分开。

（三）顽火辉石的产地简介

宝石级顽火辉石大多以卵石形式出现，产于缅甸抹谷、坦桑尼亚和斯里兰卡。顽火辉石猫眼主要产地为缅甸和南非等地。

四、普通辉石

（一）普通辉石的基本性质

1. 矿物名称

普通辉石（Augite）。

2. 化学成分

$(Ca,Mg,Fe)_2(Si,Al)_2O_6$，次要成分有Ti、Na、Cr、Ni、Mn等。在普通辉石中Al替代Si数量稍大，多数超过5%。

3. 晶系及结晶习性

单斜晶系，短柱状。可见板状晶形，集合体呈粒状。常见依（001）和（100）所成的简单接触双晶和聚片双晶。

4. 光学性质

（1）颜色

常见灰褐、褐、紫褐、绿黑色。

（2）透明度及光泽

透明—半透明，玻璃光泽，解理面上可见珍珠光泽。

（3）光性

二轴晶，正光性。

（4）折射率及双折射率

折射率：1.670～1.772；双折射率：0.018～0.033。

（5）多色性

弱—强，三色性。浅绿、浅褐、绿黄色。

（6）发光性

紫外光下荧光惰性。

（7）吸收光谱

不特征。

（8）特殊光学性质

可呈现猫眼效应和星光效应（见图3-1-403）。



图3-1-403　星光普通辉石

5. 力学性质

（1）解理

两组{110}柱面解理完全，近直交；具{100}、{010}裂理。

（2）硬度

摩氏硬度为5.5～6。

（3）密度

3.23～3.52g/cm^3。

（二）普通辉石与相似宝石的鉴别

普通辉石易与柱晶石、红柱石、蓝宝石、碧玺等宝石相混，通过折射率及双折射率、密度、解理等鉴定特征与其他相似宝石区分。普通辉石与其他辉石族宝石的鉴别特征见表3-1-38。

表3-1-38　辉石族宝石鉴定特征

宝石品种	n	双折射率	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	吸收光谱
锂辉石	1.660～1.676	0.014～0.016	3.18	Fe致色的黄绿色锂辉石有433nm、438nm吸收线，翠绿锂辉石在686nm、669nm和646nm处有Cr线，620nm附近有一宽吸收带
透辉石	1.675～1.701	0.024～0.030	3.29	具505nm吸收线，铬透辉石在690nm处有双线
顽火辉石	1.663～1.673	0.008～0.011	3.25	505nm处有一强吸收线，550nm处有一较弱吸收线
普通辉石	1.670～1.772	0.018～0.033	3.23	不特征

（三）普通辉石的产地简介

常见于各种基性喷出岩及其凝灰岩中，在变质岩和接触交代岩中亦常见到。普通辉石常被蚀变为韭闪石、绿帘石、绿泥石等矿物。世界上宝石级普通辉石分布较广，如纳米比亚、德国、俄罗斯、美国、日本，中国河南、辽宁、黑龙江等地也有宝石级普通辉石发现。

第十九节　黝帘石（坦桑石）

黝帘石（Zoisite）为硅酸盐矿物。早期，作为装饰材料，自20世纪60年代在坦桑尼亚发现了蓝—紫色的透明晶体之后，黝帘石在宝石业中的地位日益提高。为纪念当时新成立的坦桑尼亚共和国，被命名为坦桑石（Tanzanite），该宝石在国外常被称作丹泉石。

一、坦桑石的基本性质

（一）矿物名称

黝帘石（Zoisite）。在矿物学中属绿帘石族。

（二）化学成分

$Ca_2A1_3(SiO_4)_3(OH)$，可含有V、Cr、Mn等微量元素。

（三）晶系及结晶习性

斜方晶系，晶体常沿Y轴延长，呈柱状或板柱状（见图3-1-404），有平行柱状条纹，横断面近于六边形。亦呈柱状晶粒的集合体。


图3-1-404 黝帘石原石

（四）光学性质

1. 颜色

常见带褐色调的绿蓝色，还有灰、褐、黄、绿、浅粉色等。经处理后，经去掉褐绿至灰黄色，呈蓝色、蓝紫色（见图3-1-405）。


图3-1-405 蓝色坦桑石

2. 透明度及光泽

透明，玻璃光泽。

3. 光性

二轴晶，正光性。

4. 折射率及双折射率

折射率为1.691～1.700（±0.005）；双折射率为0.008～0.013；色散为0.021。

5. 多色性

三色性强，绿色的多色性表现为蓝色、紫红色、绿黄色；褐色的多色性为绿色、紫色和浅蓝色，而黄绿色的多色性为暗蓝色、黄绿色和紫色（见图3-1-406）。


图3-1-406 黝帘石明显多色性

6. 发光性

长、短波紫外光下均显惰性。

7. 吸收光谱特征

蓝色黝帘石 595nm 有一吸收带，528nm 有一弱吸收带（见图 3-1-407）。

黄色黝帘石 455nm 处有一吸收线（见图 3-1-408）。

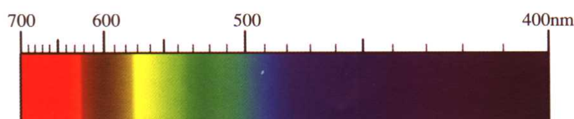


图 3-1-407 蓝色透明黝帘石光谱

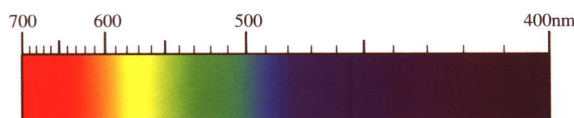


图 3-1-408 黄色黝帘石光谱

（五）力学性质

1. 解理

一组解理{100}完全，贝壳状到参差状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为 6～7。

3. 密度

3.35(＋0.10，－0.25)g/cm³。

（六）显微特征

具汽液包体，可见阳起石、石墨和十字石等矿物包体（见图 3-1-409）。

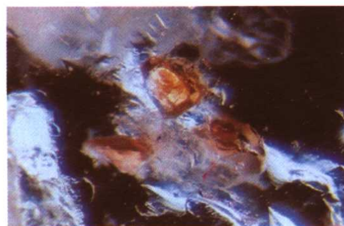


图 3-1-409 黝帘石的黄色至锈褐色的十字石内含物（暗域照明）

（七）特殊光学效应

可见猫眼效应，坦桑石猫眼稀少，在史密桑尼博物馆有一颗稀有的坦桑石猫眼重达18.2ct。

二、坦桑石的优化处理

由于天然黝帘石颜色较杂，故对其进行人工处理。一般将其加热，使钒的化合价由三价变为四价，产生紫、蓝色，其颜色稳定，不可检测。绿色的宝石级黝帘石一般不经热处理可直接使用。

三、坦桑石与相似宝石的鉴别

坦桑石与紫蓝色蓝宝石和堇青石易混淆，但据其明显的多色性和与两者不同的折射率值和密度值可将它区别出来。

四、坦桑石的产地简介

黝帘石为区域变质和热液蚀变作用产物，宝石级黝帘石的产地有坦桑尼亚、美国、墨西哥、格陵兰、奥地利、瑞士等。坦桑尼亚是世界上宝石级黝帘石（坦桑石）的主要出产国，其重要产地在里拉蒂马地区的梅勒拉尼。

第二十节　矽线石

矽线石与红柱石、蓝晶石是成分相同的同质多象变体。主要用于制造高铝耐火材料和耐酸材料，色泽艳丽者可作为宝石原料，单晶体可磨制成刻面宝石，国内市场上多为矽线石猫眼。

一、矽线石的基本性质

（一）矿物名称

矽线石（Sillimanite）属矽线石族。

（二）化学成分

Al_2SiO_5，常含有少量的Fe、Ti、Ca、Mg等微量元素。

（三）晶系及结晶习性

斜方晶系，晶体呈平行Z轴延长的柱状或纤维状，两端无晶面，断面呈近正方形的菱形或长方形。柱面上具有条纹。集合体呈放射状或纤维状。

（四）光学性质

1. 颜色

矽线石常见颜色为白色至灰色、褐色、绿色偶尔见紫蓝色至灰蓝色（见图3-1-410）。



图3-1-410 白色至灰色、褐色矽线石

2. 光泽及透明度

玻璃光泽，有的品种具丝绢光泽，半透明至透明。

3. 光性

矽线石为二轴晶正光性，纤维状集合体在正交偏光下呈集合体特征。

4. 折射率与双折射率

折射率为1.659～1.680(＋0.004，－0.006)；双折射率为0.015～0.021。点测折射率1.66，可低至1.64。

5. 多色性

白色至灰白色矽线石多色性不明显；蓝色矽线石可有较强的多色性，多色性颜色为无色、浅黄色和蓝色。

6. 荧光

紫外线下蓝色矽线石可有弱红色荧光，其他颜色品种表现为荧光惰性。

7. 吸收光谱特征

可见光光谱中可有410nm、441nm、462nm弱吸收线。

（五）力学性质

1. 解理

矽线石可见一组完全解理{010}。

2. 硬度

摩氏硬度为6～7.5。

3. 密度

3.25(＋0.02，－0.11)g/cm³，半透明宝石可低至3.20 g/cm³。

（六）显微特征

可见金红石、尖晶石、黑云母等包体。矽线石猫眼可见一组平行排列的纤维状包体，斯里兰卡的矽线石猫眼由纤维状紫苏辉石及部分金红石针状物的排列所造成（见图3-1-411）。矽线石也可呈纤维状集合体显示猫眼效应。



图3-1-411 斯里兰卡矽线石猫眼内部包体（透射光照明）

（七）特殊光学效应

常见猫眼效应。

二、矽线石与相似宝石的鉴别

（一）矽线石与相似宝石的鉴别

灰褐色矽线石和烟晶外观相似，可通过其高折射率，密度相区分。矽线石纤维状包体通常明显是其鉴定特征，与葡萄石可混淆，但可通过折射率和密度相区分。

（二）矽线石猫眼与相似宝石的鉴别

矽线石猫眼常见，通常为灰绿、褐色、灰白，半透明至不透明，罕见透明，放大观察可见纤维状结构或纤维状包体，眼线扩散，不灵活。点测折射率1.66。偏光镜下可显四明四暗或集合偏光。

1. 电气石猫眼

电气石猫眼通常为蓝、绿、粉红颜色，透明度高于矽线石猫眼，肉眼可见粗管状包体。点测折射率1.64。偏光镜下常显四明四暗。

2. 磷灰石猫眼

磷灰石猫眼通常为黄绿色、褐绿色，放大可见细管状内含物，眼线明显，灵活。点测折射率1.63或1.64。可见特征光谱580nm双线。偏光镜下常显四明四暗。

3. 阳起石猫眼

阳起石猫眼通常为绿色、黄绿色，放大不可见形成眼线内含物，眼线扩散，不灵活，在光照下展现出的是一种“乳白蜜黄”状的颜色（又称“奶蜜”现象）。点测折射率1.62或1.63。可见特征光谱505nm吸收线。偏光镜下常显集合偏光。

三、矽线石的产状、产地简介

矽线石是典型的变质矿物，分布很广泛。常见于火成岩（尤其是花岗岩）与富含铝质岩石的接触带及片岩、片麻岩发育的地区。在风化过程中，矽线石非常稳定，所以常见于冲积砂矿、残积层和破基层中。宝石级石料仅见于缅甸和斯里兰卡的砾石层中，美国爱达荷州产纤维块状矽线石。

第二章　常 见 玉 石

第一节　翡　翠

翡翠一词由来已久，汉朝许慎编著的中国最早的字典《说文解字》中就有了这个词："翡，赤羽雀也；翠，青羽雀也"，它所表达的内容是一种鸟类。后来人们就用"翡翠"一词表述这种色彩艳丽的宝石。清乾隆之后，翡翠开始了大规模的使用。

翡翠在华人心目中有着特殊的地位。翡翠通灵欲滴的绿色是一种极具生命力的颜色；翡翠品种的纷繁多样；翡翠赌石的神奇；翡翠价值的巨大差异，这一切都使得人们感觉翡翠变幻莫测、奥秘无穷。加之翡翠细腻润透的特性又极其符合华人的审美观，所以在这300多年之中，中国人对翡翠形成了浓厚的情结，无论是灵秀精美的首饰，还是大气磅礴的玉雕山子，无不融入了炎黄子孙的情感、华夏文化的精髓。

一、翡翠的基本性质

（一）矿物组成

翡翠是以硬玉为主的由多种细小矿物组成的矿物集合体。它的主要组成矿物是硬玉（Jadeite），次要矿物有绿辉石、钠铬辉石、钠长石、角闪石、透闪石、透辉石、霓石、霓辉石、沸石，以及铬铁矿、磁铁矿、赤铁矿和褐铁矿等，其中绿辉石在有些情况下会成为主要组成矿物。

法国矿物学家德穆尔1846年、1863年分别对和田玉及翡翠进行了化验分析，第一次从现代矿物学的角度指出了和田玉与翡翠在化学成分、矿物成分和物理性质上的区别。德穆尔根据和田玉与翡翠硬度的不同进行了分类，称和田玉为软玉（Nephrite），指出和田玉的矿物成分属闪石类，主要组成矿物为透闪石和阳起石；称翡翠为硬玉（Jadeite），在矿物学上属于辉石类。

从岩石学角度来看，翡翠是一种岩石，它是由硬玉、绿辉石为主要矿物成分的辉石族矿物组成的矿物集合体，是一种硬玉岩或绿辉石岩。在商业中，翡翠是指具有工艺价值和商业价值，达到宝石级硬玉岩和绿辉石岩的总称。"翡"单用时是指翡翠中各种深浅的红色、黄色翡翠；"翠"单用时是指各种深浅绿色的翡翠，高品质的绿色翡翠一般称之为"高翠"。

（二）化学成分

翡翠中主要矿物硬玉的化学成分为$NaAlSi_2O_6$，可含有Cr、Fe、Ca、Mg、Mn、V、Ti、S、Cl等元素。翡翠的矿物组成不同，其化学成分亦有较大的变化。

1. 硬玉

硬玉的化学成分是$NaAlSi_2O_6$，可有少量的类质同象替代（Ca^{2+}替代Na^+；Mg^{2+}、Fe^{2+}、Fe^{3+}、Cr^{3+}替代Al^{3+}）。硬玉中若Cr^{3+}替代了Al^{3+}，会产生绿色；Cr^{3+}替代量变化幅度较大，从万分之几到百分之几，直至形成钠铬辉石。

以硬玉为主的翡翠也就是传统意义上的翡翠。市场中绝大多数翡翠均属此类。

2. 钠铬辉石

钠铬辉石的化学组成是$NaCrSi_2O_6$，与硬玉构成完全类质同象系列。钠铬辉石在翡翠中以三种形式存在：一是呈黑色小粒状内含物，Cr^{3+}的含量可达百分之十几；二是与硬玉共生，组成钠铬辉石硬玉岩，整体呈黑绿色，不透明；三是主要由钠铬辉石组成的钠铬辉石岩，也称之为干青种，不在传统翡翠之列。

3. 绿辉石

绿辉石的化学组成是$(Ca,Na)(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+},Al)Si_2O_6$，介于硬玉及透辉石之间，当$Na/(Ca+Na) \geqslant 0.8$时为硬玉，$Na/(Ca+Na) \leqslant 0.2$为透辉石。绿辉石是翡翠中一种重要的共生矿物，常以不同比例形成含绿辉石硬玉岩型翡翠或含硬玉绿辉石岩型翡翠。绿辉石矿物含量可高达百分之百，如油青种翡翠，也是传统意义上翡翠中的一种，只是数量较少。

（三）晶系与结晶习性

翡翠为晶质集合体，其中主要的组成矿物硬玉、绿辉石属单斜晶系。常呈柱状、纤维状或粒状集合体。

（四）结构

结构是指组成矿物的颗粒大小、形态及相互关系。

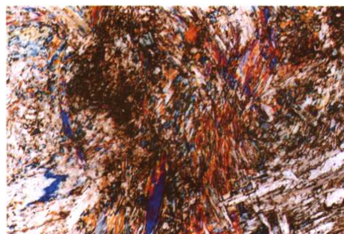
翡翠是原岩经变质作用重新结晶而成的。固态下的重结晶是一种比液态结晶作用更复杂的过程，它既与原岩物质成分、结构和构造有关，同时又与变质作用过程中温度、压力、溶液性质及应力有关。

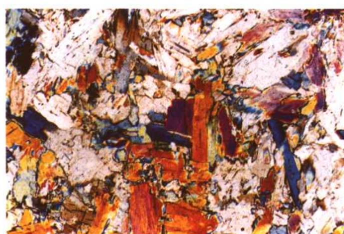
翡翠常见的结构有：纤维交织结构、粒状纤维结构等。在宝石学中翡翠的结构统称交织结构，这是因为在肉眼观察、手持放大镜观察或宝石显微镜的观察中，可以发现翡翠组成矿物全呈柱状或略具拉长的柱粒状，近乎定向排列或交织排列。翡翠的“交织结构”在鉴定中具有重要意义，这一结构特征明显有别于其他玉石的结构特征。如果有条件对翡翠作薄片鉴定可以发现翡翠的“交织结构”可包含以下几种类型的结构特点。

1. 纤维交织结构

纤维交织结构在地质学中又称为纤维变晶结构，纤维状的硬玉等矿物近乎定向排列或交织排列在一起（见图3-2-1）。它是翡翠的一种最常见结构，形成了翡翠硬度高、韧性强等特点。

当翡翠受到剪切作用的影响时，较大颗粒碎裂成细小颗粒；当剪切作用足够强烈时，则发展成糜棱—超糜棱结构，矿物颗粒通常高度亚颗粒化，颗粒极细（$d < 0.05$mm），因而透明度高，致密而细腻。高档翡翠多属于此。


图3-2-1 翡翠的纤维交织结构


图3-2-2 翡翠的粒状纤维交织结构

2. 粒状纤维交织结构

翡翠中粒状、纤维状的矿物颗粒近乎定向排列或交织排列在一起。通常颗粒较粗，边界

平直，没有遭受明显的动力变质和蚀变作用（见图3-2-2）。根据矿物颗粒粒度可以分为：显微粒状结构（$d < 0.1$mm）；细粒结构（d=0.1～1mm）；中粒结构（d=1～3mm）；粗粒结构（d=3～10mm）；巨粒结构（$d > 10$mm）。

3. 其他结构

翡翠的结构除了以上常见的两种之外，还可能出现斑状变晶结构、塑性变形结构、碎裂结构、交代结构等。

翡翠的结构决定了翡翠的质地、透明度和光泽。一般来讲，矿物颗粒越粗、颗粒间结合越松散，则翡翠质地就松散、透明度和光泽也差；相反，矿物颗粒越细、结合越紧密，则翡翠质地细腻致密、透明度好、光泽也强。纤维交织结构者韧性好，而粒状结构者韧性差。

（五）光学性质

1. 颜色

翡翠的颜色多种多样，是翡翠的价值所在。翡翠常见的颜色有：白色，无色，各种不同色调的绿色、红色、黄色、紫色、黑色、灰色等几种（见图3-2-3）。翡翠的颜色按其呈色机理可以分为原生色和次生色。原生色是翡翠形成过程中由致色离子所致；次生色为翡翠成岩之后外来有色物质浸染所致，如黄色、红色等。



图3-2-3 各种颜色的翡翠

（1）无色

也就是无色透明（见图3-2-4）。此种翡翠成分单一，由纯的$NaAlSi_2O_6$组成，并且矿物颗粒细腻，结构紧密，矿物颗粒光性趋于一致，透明度好，如无色老种玻璃地翡翠。

（2）白色

白色翡翠组成的成分单一，由$NaAlSi_2O_6$组成，但结构松散，硬玉矿物颗粒之间有一定的空隙，残留空气或其他物质，降低了透明度，使得硬玉岩不透明，显白色（见图3-2-5）。

（3）绿色

绿色是翡翠的常见颜色，所说的"翠"就是指绿色翡翠（见图3-2-6）。翡翠的绿色由浅至深分为：浅绿、绿、翠绿、深绿和墨绿，其中以翠绿色为最佳。大多数绿色翡翠或多或少地含有杂色，呈黄绿、灰绿、蓝绿等色。如果黄绿色中黄色调很浅，成为黄阳绿，仍不失翡翠的艳丽，而灰绿及蓝绿则影响翡翠颜色的品质。



图3-2-4 无色翡翠



图3-2-5 白色翡翠



图3-2-6 绿色翡翠

翡翠的绿色主要由微量的Cr、Ti、Fe等元素类质同象替代所引起的，含量越高，颜色越深。类质同象替代有三种情况：

当硬玉分子中Al^{3+}被适量的Cr^{3+}（以及Ti^{4+}）替代时，则翡翠呈诱人的翠绿色（研究表明

这种高档绿色还与翡翠中微量的S^{2-}、F^-和Cl^-有关）；但若Cr^{3+}的含量很高时，则翡翠的绿色变成墨绿色甚至是黑色。

当硬玉分子中Al^{3+}主要被Fe^{3+}替代时，翡翠呈灰绿色，不如含Cr翡翠的颜色那么鲜艳、明快，油青翡翠属于此类（见图3-2-7）。

当硬玉分子中Al^{3+}同时被Fe^{3+}和Cr^{3+}替代时，则翡翠颜色介于前两者之间，视Fe^{3+}和Cr^{3+}的比例而定。

（4）紫色

紫色翡翠也称紫翠（见图3-2-8），按其深浅变化可有浅紫、粉紫、紫、蓝紫，甚至近乎于蓝色。传统观念认为是由微量的Mn致色，也有人认为是由Fe^{2+}和Fe^{3+}离子跃迁而致色，或与K^+离子的存在有关。

（5）黑色

翡翠的黑色有两种，一种在普通光源下为黑色，强光源照射则呈深墨绿色的翡翠（见图3-2-9），主要是由于过量的Cr、Fe造成的。此种翡翠的折射率和密度比一般翡翠高，折射率为1.67～1.68，密度为3.4g/cm³左右。另一种是呈深灰至灰黑色的翡翠（见图3-2-10），这种黑色是由于含有角闪石等暗色矿物造成的，看上去很脏，是较为低档的翡翠。



图3-2-7 油青翡翠



图3-2-8 紫色翡翠



图3-2-9 深墨绿色翡翠



图3-2-10 深灰至黑色含杂质翡翠

（6）黄色和红色

黄色和红色是次生颜色，商业中称之为“翡”（见图3-2-11、图3-2-12）。当白色、紫色或绿色翡翠形成后，由于受风化作用，形成赤铁矿或褐铁矿沿翡翠颗粒之间的缝隙或解理慢慢渗入而成。一般黄色多为褐铁矿所致，红褐色为赤铁矿所致。

（7）组合色

在珠宝界，对翡翠的一些颜色组合给予了一些特定的名称，如春带彩、福禄寿等。春带彩：紫色、绿色相间，有着春花怒放之意（见图3-2-13）。福、禄、寿：绿色、红色、紫色同时存在于一块翡翠上，象征吉祥如意，代表福禄寿三喜（见图3-2-14）。



图3-2-11 红色翡翠



图3-2-12 黄色翡翠



图3-2-13 春带彩



图3-2-14 福禄寿

翡翠的颜色丰富多彩，其色的形状与组合、色的深浅与分布千变万化。有时同一块料上可有五种颜色，又称为“五彩玉”。

2. 光泽及透明度

翡翠的光泽为玻璃光泽至油脂光泽。半透明至不透明，极少为透明（见图3-2-15）。在商业中，翡翠的透明度又称为“水头”。

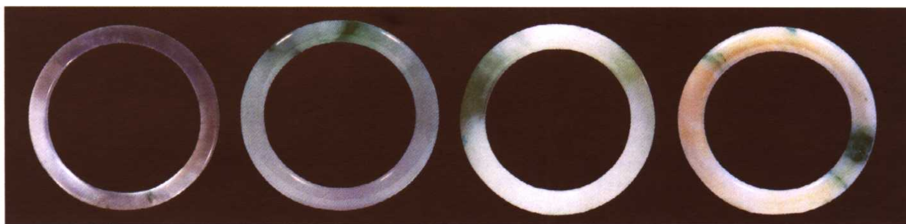


图3-2-15 翡翠的透明度

一般来说，翡翠组成成分越单一，矿物颗粒越细，结构越紧密，则透明度越好，光泽越强；组成成分越复杂，颗粒越粗，结构越松散，则透明度、光泽越差。另外翡翠中含有过量的Fe、Cr等微量元素时，透明度变差，甚至不透明。

3. 光性特征

非均质集合体。

4. 多色性

无。

5. 折射率

翡翠的折射率为1.666～1.680(± 0.008)，点测法常为1.66。

6. 吸收光谱

437nm吸收线是翡翠的特征吸收谱，是铁的吸收线（见图3-2-16）。630nm、660nm、690nm吸收带或线是铬的吸收线，绿色越浓艳铬线越清晰（见图3-2-17）。如果绿色很浅，则630nm就不易观察到。染绿色的翡翠在660nm处可有一条明显的宽带（见图3-2-18）。

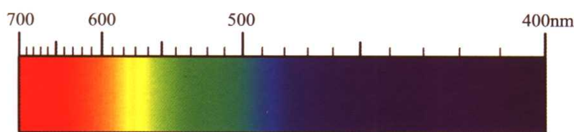


图3-2-16 翡翠的吸收光谱

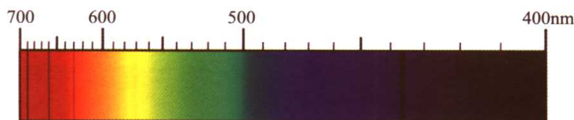


图3-2-17 含铬绿色翡翠的吸收光谱

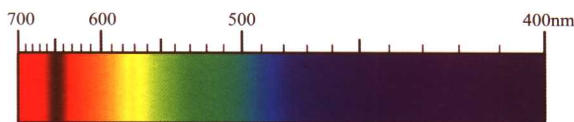


图3-2-18 染色翡翠吸收光谱

7. 发光性

天然翡翠绝大多数无荧光，个别翡翠有弱绿色、白色或黄色荧光。翡翠中若长石经高岭石化可显弱的蓝色荧光。

早期充填处理翡翠可有弱至中等的黄绿、蓝绿色荧光；近期充填处理翡翠无至弱的蓝绿或黄绿色荧光。染色的红色翡翠可有橙红色荧光。注油翡翠有橙黄色荧光。

（六）力学性质

1. 密度

翡翠的密度为3.25～3.40g/cm³，几乎等于二碘甲烷（3.32g/cm³）的密度。翡翠密度随其中Fe、Cr等元素含量的增加而增加。

2. 硬度

摩氏硬度为6.5～7。

3. 解理

组成翡翠的主要矿物硬玉具有平行于{110}的两组完全解理，并且可有平行于{001}和{100}的简单双晶和聚片双晶。解理面和双晶面的星点状、片状、针状闪光也就是人们所说的“翠性”，俗称“苍蝇翅”或“沙星”，是鉴别翡翠的重要标志。但是“翠性”并不是在所有的翡翠表面都能见到，如老种玻璃地的翡翠就看不见“翠性”。

（七）放大检查

可见“翠性”，纤维交织结构至粒状纤维交织结构。

（八）特殊光学效应

未见。

二、翡翠原石特征

翡翠原石分为原生矿和次生矿两种。其中原生矿又可称为新坑无皮石；次生矿是指翡翠成矿后经过长期风化作用，与各种外界应力作用形成的形状各异，带皮的翡翠原料。

翡翠原石常有一层风化壳。由于风化壳的存在，以致无法观察到翡翠内部。而对翡翠原石的鉴定则主要是通过观察风化壳表面出现的各种现象，推断该翡翠原石内部质量的优劣。在翡翠原石表面常出现以下现象。

（一）皮壳

绝大多数翡翠原石有风化壳，即翡翠原石在地质搬运过程中经风化作用形成的产物，称为“皮壳”。如果皮壳比较粗糙、有沙粒感的翡翠原石，称为砂皮石。根据砂皮的颜色可分为：白砂皮、黄砂皮、铁砂皮、黑乌砂皮等。其中白砂皮翡翠内部往往没有颜色，如果有也是淡淡的绿色或紫色，但一般透明度较好（见图3-2-19）；黄砂皮的翡翠原石内部可能有较多的绿色，但多数颜色不均匀，有时也可能有较浓艳的色根（见图3-2-20）；一般认为铁砂皮的皮壳很薄，内部品质较好，可出高档料；黑乌砂皮为颜色较深的黑色、绿色，一般认为内部会有较深的绿色部分，甚至可出现满绿的翡翠（见图3-2-21），但是黑乌砂皮翡翠原石变化非常大，有的里面绿中带黑点、有的里面是很干的绿、有的里面绿很脏；石灰皮呈灰白色，皮较软，可用铁刷子刷掉石灰皮层，多数是高岭土化所致，内部一般种质较好。此外，还有经过水的冲刷，外皮光滑，手摸上去没有砂的感觉，很细腻的水石皮。这种皮很薄，颜色也有多种，有

褐色、青色、淡黄色等。由于水皮石的皮很薄，强光可以透过，较容易判断里面的情况。水皮石的翡翠一般都经过较长距离的搬运，较致密、细腻的部分保留下来了，所以一般品质较好。


图 3-2-19 白砂皮


图 3-2-20 黄砂皮


图 3-2-21 黑乌砂皮

总之，可根据翡翠皮壳的颜色、致密程度、光润程度、厚薄等，推断翡翠内部颜色、透明度、净度、结构等优劣程度。

（二）松花

“松花”是指翡翠皮壳上绿色的表现，也就是翡翠内部或浅层绿色在皮壳表面的一种表现。由于致色离子的种类、浓度和空间分布在一定的成矿时间和空间是相对稳定的，所以根据松花颜色的浓淡、数量的多少、形态的变化，可以推断翡翠内部颜色的变化和分布。如果松花的颜色浓而鲜艳，价值就会高；如果翡翠皮壳上没有松花，内部可能很少会有色；而皮壳上多处有松花，则内部可能存在颜色或者仅仅存在于表层。另外，松花是否渗入翡翠内部，渗透的深度等，也是推断颜色好坏的依据之一。

（三）蟒

“蟒”是描述翡翠原料的术语，是指翡翠中的绿色条带在风化壳的表现形态。一般呈凸起的曲折细脉状分布在风化壳表面，犹如一条蟒蛇盘卷，是判断有无颜色及颜色分布状态的一种依据。翡翠的成岩成矿有着不同的世代，形成了结构、成分上的差异，这就导致了硬度不同，在风化过程中产生差异风化。一般细粒致密结构比粗粒疏松结构抗风化能力强，绿色部分比无色部分抗风化能力强，所以与无色、浅色粗粒疏松结构的基底相比是细粒结构的绿色部分凸出来，形成蟒带。翡翠的绿色条带多是成岩期后改造的结果，成岩期后改造首先是在应力作用下硬玉岩变形、破裂，而后含致色离子的热液侵入，进行离子交代，形成绿色条带。所以说有色条带多是变形破裂带，而这一破裂带又继续在应力和热液作用下发生了揉皱和重结晶，形成了一条结构致密的弯曲翡翠色带，反映在风化壳上。蟒带的形态、颜色、走向、倾向是判断翡翠绿色变化的重要标志。

（四）癣

“癣”是指在翡翠原料皮壳表面上出现大小不同、形状各异，呈黑色、深绿色或灰色的印记（见图 3-2-22）。是一种与翡翠绿色有关联的表现特征，是铬离子的提供者，俗称“癣吃绿”或“绿随黑走”。癣的主要矿物成分是碱性角闪石，通常呈柱状、纤维状集合体，呈靛蓝色、蓝黑色，往往围绕辉石、尤其对硬玉呈边缘交代或完全交代，与皮壳周围的物质有明显的颜色变化。如果在一个面上出现有大量的片状癣，而另一个面上有大量的点状癣，那么内部可能含有太多的阳起石等产生癣的矿物；如果有一些癣仅仅在一个面上有表现，


图 3-2-22 翡翠的“癣”

而且都是片状癣就有可能仅仅在表面有一点"脏"，不会产生很大影响；如果在二个面甚至三个面上有癣时，有可能内部很脏。

（五）雾

"雾"是指存在于外层风化壳与内部翡翠之间的一层雾状不透明物质（见图3-2-23），实际上是一种硬玉矿物退变质作用的结果。由于温度的降低及压力的增加，原生矿物硬玉发生退变质，形成新的次生矿物包裹在硬玉岩外部，形成了中心部分是硬玉岩，外面是次生矿物层，最外层是风化壳的格局。这些次生矿物主要是钠长石和霞石。雾有厚有薄，颜色有白雾、黄雾、黑雾和红雾。雾的有无及雾的颜色反映的是原岩的信息，雾的出现是有翠色的一种预兆，不同颜色的雾具有不同的指示作用，一般红雾和黄雾是由于含铁量高而引起的，而高铁又使得翡翠绿色发暗；白雾表明含铁不高，是较纯的硬玉岩，可能出正绿色高翠。



图3-2-23 翡翠的"雾"

三、翡翠的鉴定

（一）观察"翠性"和结构

"翠性"多出现在粒状纤维交织结构中，在白色团块状的"石花"或"石脑"附近较易观察。矿物颗粒越粗大"翠性"越明显，颗粒细腻越不易观察。

颗粒较粗的抛光良好的翡翠表面常出现"微波纹"（见图3-2-24）。这是由于长柱状、束状略具定向分布的硬玉颗粒间硬度差异所造成的，是翡翠内部结构的外在反映。

在阳光或灯光下，借助反射光在翡翠的表面寻找"翠性"以及"微波纹"；在透射光下注意观察翡翠特有的（粒状）纤维交织结构。

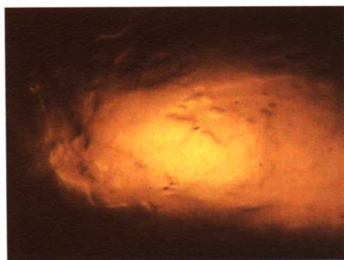


图3-2-24 翡翠表面的微波纹

（二）颜色

翡翠的颜色丰富多彩，不仅要观察颜色的色调，也要注意观察颜色的组合和分布（俗称"色根"），是否为翡翠的正常颜色，是否是翡翠经常出现的颜色，以区别于其他相似玉石；还要观察颜色的分布，是否呈丝网状、沿微裂隙分布，以此来判断颜色为原生还是次生或经人工染色所致。

（三）光泽

由于翡翠具有较高的折射率和较高的硬度，所以其光泽强于其他相似玉石。

（四）密度

翡翠的密度为3.33g/cm^{3}左右，大于多数绿色玉石。用手掂量，翡翠较重，有"打手"的感觉，而石英岩质玉石等则较轻。

（五）折射率

点测法翡翠的折射率为1.66左右。很少与其他玉石折射率相混。

四、翡翠与相似玉石的鉴定

与翡翠相似的其他玉石主要有：软玉、蛇纹石玉、石英质玉石、水钙铝榴石、钠长石玉等，详见表 3-2-1。

表 3-2-1　翡翠与其相似天然玉石的识别特征

名　称	颜　色	H_M	$\rho/g \cdot cm^{-3}$	n	其他特征
翡翠	绿、红、紫、黄、白等	6.5～7	3.33 ±	1.66 ±	颜色不均匀，纤维交织结构，粒状纤维交织结构，可有“翠性”
软玉	白、绿、黄、黑等	6～6.5	2.95 ±	1.60～1.61	颜色均匀，毛毡状结构，质地细腻，无“翠性”
独山玉	白、绿、黄、褐、紫等	6～7	2.70～3.09	1.56～1.70	色杂不均，粒状结构
水钙铝榴石	白、浅绿到暗绿、粉红色	7	3.47 ±	1.72 ±	颜色不均一，有较多黑色斑点和斑块，粒状结构
葡萄石	浅黄、浅绿、白	6～6.5	2.80～2.95	1.63 ±	颜色均一，具放射状纤维结构
符山石	黄绿、蓝绿、灰白	6～7	3.4 ±	1.71 ±	颜色均匀，具放射状纤维结构
蛇纹石玉	黄绿、绿、棕色	2.5～6	2.57 ±	1.56 ±	颜色均匀，纤维交织结构
绿玉髓	苹果绿、蓝绿	6.5～7	2.60 ±	1.53 ±	颜色均一，隐晶质结构，质地细腻
石英岩	白、绿等	7	2.64～2.71	1.54 ±	颜色不均匀，粒状结构
钠长石玉	无色、白、灰绿	6	2.60～2.63	1.52～1.53	颜色不均匀，粒状结构

（一）软玉

与翡翠相比，软玉具典型的毛毡状结构，颗粒更为细小，外观更为细腻，油脂光泽，无“翠性”，颜色分布均匀。此外密度、折射率、吸收光谱也与翡翠完全不同。

软玉在缅甸和云南地区又称为“昆究”。

（二）蛇纹石玉

蛇纹石玉的绿色以黄绿色为主，色较浅淡，均匀。蜡状至玻璃光泽，硬度、密度、折射率均低于翡翠，无星点状闪光。蛇纹石玉与翡翠同为纤维交织结构，但前者的结构更为细腻，不易观察，以此可以与翡翠相区别。

（三）石英岩

常见的石英岩为无色，也有些石英岩为浅绿色。石英岩的特点是粒状结构，无“翠性”，密度、折射率均低于翡翠。含有铬云母的东陵石在石英颗粒之间有绿色铬云母呈片状闪光，并且在滤色镜下变红，以此区别于翡翠。

染色处理的石英岩俗称“马来玉”，绿色染料沿颗粒之间呈网状分布，吸收光谱可具明显的 650nm 宽吸收带。

（四）玉髓

绿色玉髓又称为澳玉，为隐晶质集合体。颜色均匀，为典型的苹果绿色。密度、折射率均低于翡翠。

（五）水钙铝榴石

水钙铝榴石集合体有人称之为“南非玉”、“特兰斯瓦尔玉”、“青海翠”、“不倒翁”。特点是粒状结构，均质集合体，常见暗绿色或黑色斑点，密度和折射率平均高于翡翠。滤色镜下呈红色。

（六）钠长石玉

钠长石玉又称为“水沫子”（见图3-2-25），颜色常为无色、白色、灰白色，“白棉”多，可有蓝绿色“飘花”，透明度好，与冰地翡翠极为相似。但钠长石玉为粒状结构，光泽弱，密度、折射率、硬度均低于翡翠。



图 3-2-25 钠长石玉

（七）独山玉

独山玉是一种黝帘石化的斜长岩。颜色以不均匀的白、绿色为主，纤维粒状结构，透明度低，绿色在滤色镜下为红色，密度、折射率变化范围大。

（八）符山石

符山石又称为“加州玉”，具纤维状或放射状纤维结构，颜色主要为绿和黄绿色，密度 $3.4g/cm^3$，与翡翠极为相似，折射率 1.71 左右，远高于翡翠。

（九）葡萄石

具放射状纤维结构，纤维构成球形的集合体，形状如葡萄。密度、折射率、硬度均低于翡翠。

（十）玻璃

玻璃是市场上最常见的翡翠仿制品，主要有：“料器”、脱玻化玻璃。

1. “料器”

玉器行业把早期仿翡翠的玻璃称为“料器”。特点是绿色半透明，具大小不等的圆形气泡，肉眼即可辨别。颜色不均，常见旋涡状搅动纹；贝壳状断口；折射率 1.4～1.7 不等；荧光可有可无。在许多祖辈留下的遗物中，绿色仿玉的戒面、帽扣、簪针等大多属于此类。

2. 脱玻化玻璃

大约出现在 20 世纪 70～80 年代，国外称这种仿玉的玻璃为“依莫利宝石”（Imoristone）或“准玉”（Metajade）。经脱玻化作用，使非晶质的玻璃部分“重结晶”，肉眼看上去类似绵状物，形如晶质集合体（见图 3-2-26）。但这种脱玻化玻璃的折射率仅为 1.50～1.52，密度为 $2.40 \sim 2.50g/cm^3$，硬度为 5，贝壳状断口。



图 3-2-26 脱玻化玻璃

五、翡翠的优化处理及其鉴定特征

翡翠的优化处理方法可分为两类。优化的方法主要有：浸蜡和热处理，这种优化处理过的翡翠与未经处理的天然翡翠一样，可以视为“A货”翡翠；处理的方法主要有：漂白、浸蜡，漂白、充填等，这种优化处理的翡翠俗称“B货”翡翠，而染色处理的翡翠则俗称“C货”翡翠。

（一）热处理

1. 目的

加热的目的是促进氧化作用的发生，使黄色、棕色、褐色的翡翠转变成鲜艳的红色。

2. 方法

将体积相近的翡翠清洗干净后放在炉中加热。样品最好包上，悬空吊在炉中。升温速度要缓慢，当翡翠颜色转变为猪肝色时，开始缓慢降温，冷却之后翡翠就呈现红色。为获得较鲜艳的红色，可进一步将翡翠浸在漂白水中，氯化数小时，以增加它的艳丽程度。

3. 耐久性

与天然红色翡翠具有同样的耐久性。

4. 鉴定特征

因为与天然红色翡翠的形成基本相同，所不同的是通过加热加速了褐铁矿失水的过程，使其在炉中转变成了赤铁矿。从外观而言，天然红色翡翠稍微透明一些，而加热的红色翡翠则有干的感觉。经热处理的翡翠其基本性质与天然翡翠基本相同，常规方法不易鉴别。

通过红外光谱仪进行鉴别可以看出，天然翡翠在1500～1700cm^{-1}、3500～3700cm^{-1}附近表现出较强的吸收区，为结晶水和吸附水的吸收区；经热处理的红翡翠在上述两个位置没有强的吸收区，说明烧制翡翠中没有水的存在。

（二）浸蜡

1. 目的

掩盖翡翠的裂纹，增加透明度。

2. 处理方法

将翡翠成品放入蜡的液体中，稍稍加温、浸泡，使蜡的液体沿裂隙和微小缝隙渗入，再抛光后可增加透明度，掩盖原有缝隙。

3. 耐久性

这种处理方法只是暂时掩盖了较为明显的裂纹，增加了光的折射和反射能力，同时使透明度有所提高。如果遇到高温会使蜡质溢出，耐久性差。

4. 鉴定特征

浸蜡处理是翡翠加工中的常见工序，轻微的浸蜡处理不影响翡翠的光泽和结构，属于优化。严重浸蜡的翡翠缓慢地在酒精灯上加热可使蜡溢出。在紫外荧光灯下可能见到蓝白色荧光。有机物峰明显，具有2854cm^{-1}、2920cm^{-1}特征谱。

（三）漂白、充填处理

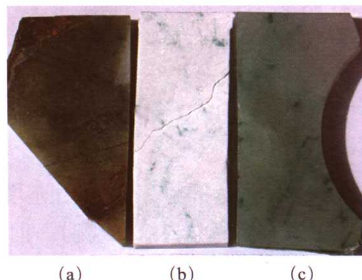
1. 目的

翡翠的颗粒常因存在着一些铁、锰等元素的杂质，而产生黑、灰、褐、黄等杂色，影响了翡翠的美观程度，降低了翡翠的价值。为了去掉这些杂色，人们常用化学的方法给翡翠漂

白，俗称“洗澡”或“冲凉”。

漂白是传统玉器加工中常用的方法之一，称之为“过酸梅”。目的是去除表面层杂色，不影响翡翠的耐久性，属于“优化”，目前仍在应用。而通常意义上所指的漂白是将翡翠放置强酸中，破坏翡翠的原有结构，并有物质带进带出，此种漂白属于“处理”。

充填是指对经过严重酸洗漂白的翡翠进行充填固结处理。在漂白过程中，去除杂色和脏色的同时也破坏了翡翠的结构，造成翡翠颗粒之间出现较多较大的缝隙，有的甚至呈疏松的渣状。这样的翡翠不可能直接使用，所以必须用一些能够起固结作用的有机聚合物（如树脂或塑料）充填于缝隙之间，既固结了翡翠又加强了透明度（见图 3-2-27）。



(a)　(b)　(c)

图 3-2-27　漂白充填翡翠

(a) 处理前；(b) 酸洗后；(c) 充填后

2. 选料

漂白充填翡翠通常选用未抛光、结构不太紧密，且又基底泛黄、泛灰、泛褐等脏色调的翡翠成品或小块的原石，块大者可切成片状。油青翡翠就不适于进行漂白充填处理。

3. 漂白充填处理翡翠制作方法

早期“B 货”翡翠做法很简单，先挑选好料或成品，然后用酸浸泡，直到腐蚀掉表层的杂色和污点后，涂上一层蜡，填平缝隙。这种表层涂蜡的早期“B 货”翡翠，肉眼极易识别，因为蜡的光泽明显低于翡翠的玻璃光泽；蜡遇热后会变软、脱落；用普通的针尖也可轻试。这种粗糙的早期“B 货”翡翠即使不经加热，过几个月就会出现许多微小裂隙，裂隙中常析出（氧化）褐色粉末。目前，这种翡翠市场上已不多见。

近期的翡翠优化处理技术有了很大提高，通常经过选料、强酸浸泡（又称为“白渣化”）、弱碱中和、清洗、烘干、填充、抛光等几个步骤来完成处理的全过程。

4. 耐久性

漂白充填就会使翡翠的结构受到一定的破坏，并且胶质固结物经过一段时间后会发生老化现象，翡翠的光泽、颜色、“水头”等均会发生变化，影响了翡翠的耐久性。

5. 鉴定特征

（1）常规鉴定

1）光泽　翡翠经强酸碱浸泡处理后，结构疏松，没充填之前表面见溶蚀凹坑，使之产生漫反射，光泽变弱。加入树脂或塑料等有机充填物后，翡翠常有树脂光泽、蜡状光泽或者是玻璃光泽与树脂光泽、蜡状光泽混合。

2）颜色　由于翡翠结构被破坏，内在原有的光学性质也发生了改变，所以“B 货”翡翠的颜色分布无层次感。虽然这种方法处理的翡翠的绿色仍为原生色，但经过酸性溶液的浸泡，基底变白，绿色分布较浮，原来颜色的定向性也被破坏了，看起来很不自然（见图 3-2-28）。

3）结构　翡翠受到强酸强碱浸泡腐蚀后，有部分物质带进带出，在表面及内部沿矿物晶体间形成溶蚀，产生内部的连通式裂隙。在透射光照射下，可见内部纵横交织的裂隙；在反射光条件下，表面的溶蚀凹坑或蛛网状网纹清晰可见。

4）表面特征　这种方法处理的翡翠由于充填物与翡翠本身的硬度差别较大，在原生的裂隙处呈较明显的凹沟，充填物明显低于两边，许多绺裂组成了纵横交错的“沟渠”（见图 3-2-29）。较大的“沟渠”中可见胶结物或残留气泡。近期加工技术较好的漂白加充填处理的翡翠

表面非常光滑，无上述现象，须更加仔细地观察和测定。

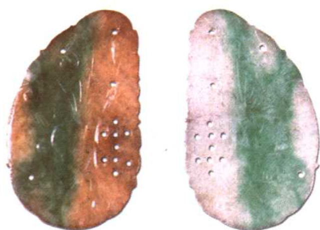


图 3-2-28 漂白充填翡翠处理前后颜色变化



图 3-2-29 漂白充填翡翠的表面特征

5）密度、折射率　漂白充填处理的翡翠多数密度、折射率略低。密度为3.00～3.43g/cm³，折射率为1.65左右（点测）。但是由于翡翠的矿物组成复杂，某些天然翡翠的密度和折射率值也可能偏低，所以密度和折射率只能作为参考数据，通常不能作为判定翡翠是否经过充填的依据。

6）荧光性　无或弱至强的紫外荧光，荧光分布均匀或呈斑杂状。早期“B货”翡翠绝大多数有荧光（见图3-2-30）。短波：弱，黄绿或蓝绿（蓝白）；长波：中至强，黄绿或蓝白色。但近期这种方法处理的翡翠通常荧光强度较弱或无荧光。

7）放大检查　放大检查是鉴定这种处理翡翠的有效方法。分为表面观察和内部观察。

用反射光观察样品的表面，通常可见到三种情况：①表面明显可见分布较均匀的“蛛网”状或“沟渠”状裂纹。这是确定无疑的漂白充填翡翠。但要注意与抛光不良造成麻点状表面相区分。漂白充填处理翡翠裂隙边缘较为圆滑，“翠性”不明显；而抛光不良所形成的麻点状凹坑多呈三角形，边缘较尖锐，分布不均匀，多出现于颗粒粗大处，“翠性”明显。②表面抛光较好，但局部可见细小裂纹相对集中。这是因为翡翠经漂白充填处理后又经过较为细致认真的再抛光，使得表面较光滑，局部细小裂纹是被破坏的翡翠颗粒间的极细小缝隙未被完全充填的表现。③表面极为光滑，细小的裂纹很少，但在表面出现很多类似“翠性”反光的亮点。亮点往往是在较粗大颗粒的表面或内部重叠分布，而不似解理面的片状闪光。在高倍显微镜下，可见许多小亮点为小的气泡，这是由于在充填处理时未能把缝隙里面的空气全部抽空而保留下来的气泡。

用透射光观察翡翠的内部结构。经过漂白充填处理的翡翠结构松散，颗粒边缘界限模糊，颗粒破碎，解理不连贯（见图3-2-31）。

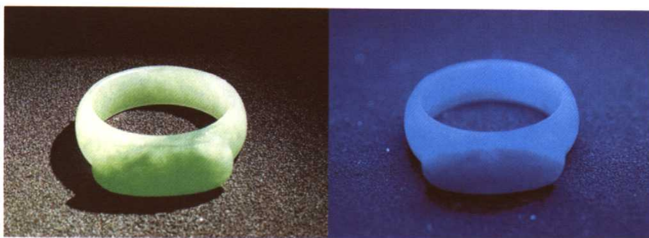


图 3-2-30 漂白充填翡翠的荧光



图 3-2-31 漂白充填翡翠的内部结构被破坏

8）热反应　“B货”翡翠加热200～300℃后胶质发生碳化。

9）敲击反应　经过漂白充填后的翡翠，其结构被破坏，矿物颗粒间被胶质充填。因此轻轻敲击后发出沉闷的声音，与天然翡翠清脆之声有明显的区别（此法主要适于翡翠手镯的鉴别）。

（2）大型仪器鉴定方法

1）红外光谱仪　红外光谱仪是鉴别翡翠最常用、也是最有效的大型仪器。天然翡翠在2600～3200cm^{-1}区间透过率好，多不存在吸收峰。

漂白充填处理翡翠其特点是成分中含有机物，而且不同的充填物羟基的结构不同，呈现不同的吸收谱带。翡翠常见的红外吸收光谱如图3-2-32。

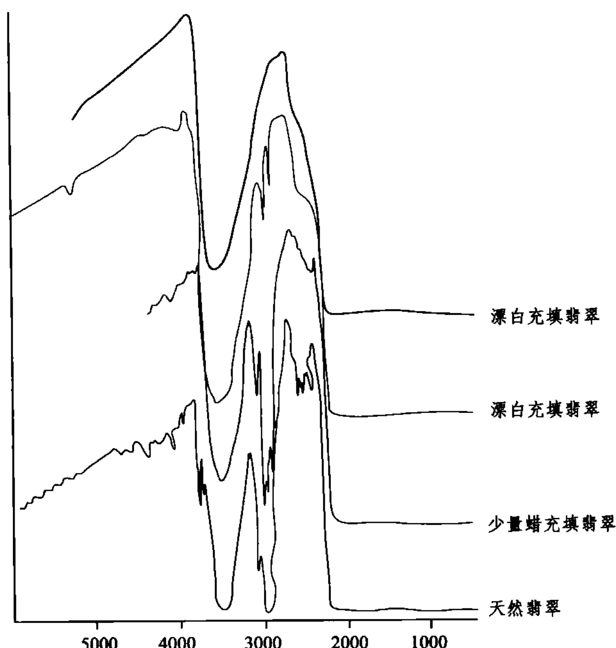


图3-2-32 翡翠与优化处理翡翠的红外光谱图

2）激光拉曼光谱仪　硬玉的拉曼光谱具有四个特征谱带（375.5cm^{-1}、699.9cm^{-1}、1039.9cm^{-1}和1992cm^{-1}），其中属于Si—O—Si的弯曲振动的375.5cm^{-1}、699.9cm^{-1}两个谱峰较明显（见图3-2-33）。

因为漂白充填翡翠中所使用的充填物一般为环氧树脂，所以B货翡翠中1100 cm^{-1}以上有六条强拉曼谱带，分别是1114 cm^{-1}、1183cm^{-1}、1606 cm^{-1}、2869cm^{-1}、2905cm^{-1}和3070cm^{-1}（见图3-2-34）。

3）阴极发光显微镜　阴极发光显微镜下（50×），在高能电子束的轰击下，翡翠的主要组成矿物硬玉等矿物可呈现出不同颜色不同强度的荧光特征。晶体结晶较为完好，形态完整，以自形、半自形柱粒状为主；荧光颜色丰富，具有四个系列，即红色系列、黄绿色系列、蓝紫色系列以及不可见光系列；生长环带发育且闭合程度较高，环带的荧光颜色由中部向边缘，总体为蓝紫（暗绿）→蓝（黄绿）→红（黄）色变化，发光强度也由弱变强。

漂白充填处理的翡翠荧光颜色以黄、黄绿、蓝绿色为主，颜色分布相对均匀，边缘环带由于溶蚀作用，表现为凸凹不平或残留不全等。在柱、粒状矿物晶体的表面，清晰可见呈细小弯曲状或不规则状延伸的溶蚀纹，或切穿整个晶体，或沿颗粒边缘向内部延伸直至尖灭。溶蚀纹和溶蚀裂隙中充填有发暗绿色、深蓝色的物质（胶体）。

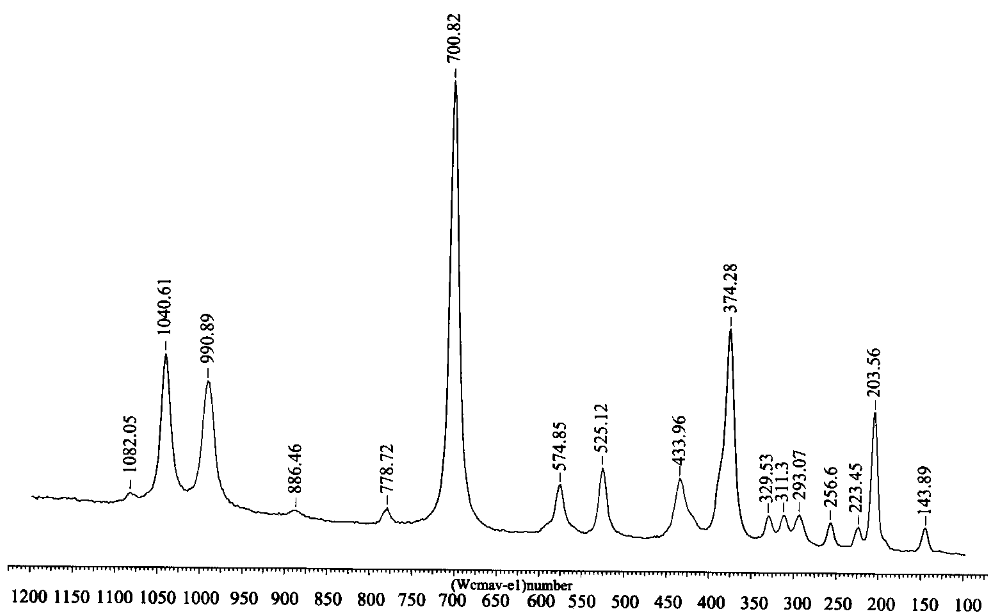


图 3-2-33 翡翠拉曼光谱图

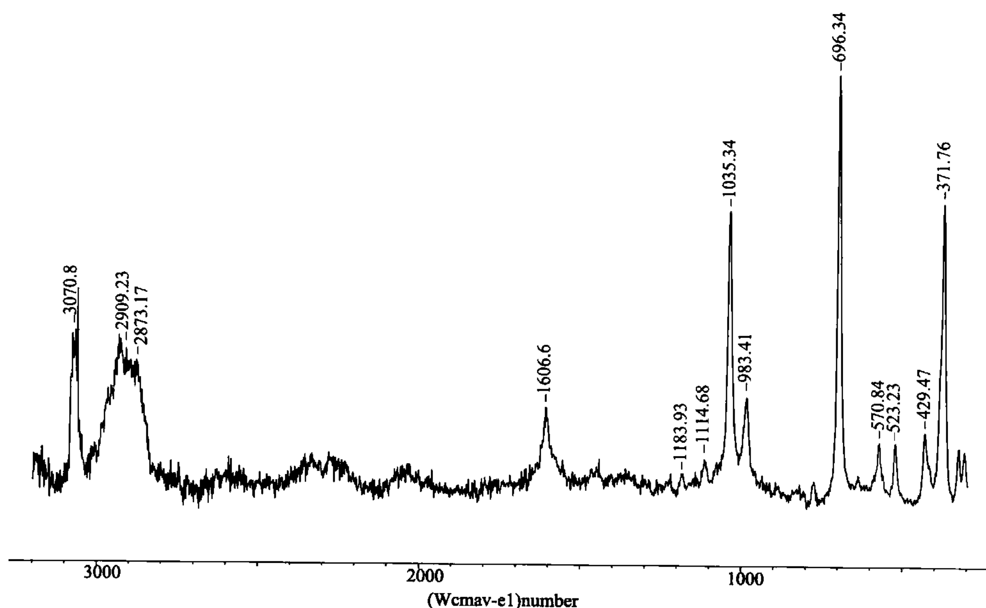


图 3-2-34 漂白充填翡翠拉曼光谱图

（四）染色处理

1. 目的

使无色或浅色翡翠的颜色变成绿色、红色或紫色，是最原始、最易制作的处理方法。

2. 选料

用于染色的翡翠要有一定的缝隙，也就是颗粒较粗者比较适宜。

3. 染色方法

染色的方法很多，但基本上大同小异。首先将选好的待染色的翡翠用稀酸漂白、清洗，干燥后放入准备好的染料（如氨基染料）或颜料（如铬酸盐）的溶液中，稍微加热，浸泡的时间视翡翠的大小和质地而定。

炝色是先将翡翠加热，使翡翠颗粒之间产生微裂隙，然后迅速放入有色的染料或颜料溶液中。这种方法可以减少浸泡时间，但颜色沿裂隙分布会更加明显。

已染色或炝色的翡翠需烘干上蜡，为的是增加透明度，掩盖缝隙。

部分染色或炝色翡翠需要充胶处理，起到提高透明度，掩盖裂隙及固结的作用；部分漂白后的翡翠直接充填有色胶结物，也可起到同样的作用，即所谓的“B+C货”翡翠（见图3-2-35）。

4. 耐久性

染色翡翠的耐久性较差。因为着色剂没有进入晶格，而是存在于颗粒之间的缝隙中。当染色翡翠受到光线的长期照射、酸碱溶液的侵蚀、受热，甚至空气的氧化作用时，原本鲜艳的颜色会褪色，甚至变为无色。

5. 鉴定特征

(1) 放大检查

利用放大镜或显微镜观察颜色的分布，由于染料沿颗粒或裂隙进入翡翠，所以看到染色的颜色呈丝网状分布，在较大的绺裂中可见染料的沉淀或聚集（见图3-2-36）。这是鉴别染色翡翠最直接的证据。炝色翡翠可以看到清晰的炸裂纹。



图3-2-35 漂白染色充填翡翠

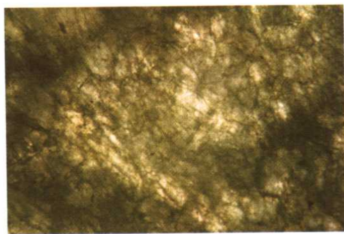


图3-2-36 染色翡翠的颜色分布

(2) 光谱特征

铬盐染色处理的绿色翡翠常出现650nm宽吸收带。特征的吸收光谱是鉴定染色翡翠的有力证据。

(3) 查尔斯滤色镜

由于着色剂的不同，染色翡翠在查尔斯滤色镜下的反应也不同，既可以无变化也可以变红。但如果绿色翡翠在查尔斯滤色镜下变红，则表示该翡翠经过染色处理。

(4) 紫外荧光

有些染色翡翠在紫外光的照射下，会发黄绿色或橙红色（染红色翡翠）荧光。

(5) 红外光谱

经有机染料染色的翡翠在红外光谱中出现2854cm^{-1}和2920cm^{-1}的吸收峰，表示存在有机物。

(6) 阴极发光显微镜

荧光颜色主要为蓝绿、黄绿等色，裂隙中充填有发暗绿色荧光的物质，发光强度与“B货”翡翠的大体相近。少见生长环带，环带的完整程度和闭合程度更低。染色翡翠裂隙发育，

结构疏松。由于染料的类型不同，裂隙充填物可不发光或发蓝白色、暗绿色荧光等。

（五）覆膜处理

1. 目的

改变翡翠的颜色。

2. 方法

在翡翠的成品表面覆着一层有机膜，又称为“穿衣翡翠”（见图3-2-37）。

3. 耐久性

覆膜翡翠的耐久性较差，薄膜容易脱落。

4. 鉴定方法

覆膜翡翠的颜色均匀；折射率偏低，点测法为1.56左右（薄膜的折射率）；放大观察可见表面光泽弱，多为树脂光泽；无颗粒感；局部可见气泡；可见薄膜脱落，多出现在边缘部位；针触之感觉较软；手感较涩。

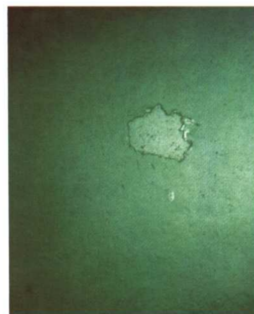


图3-2-37 覆膜翡翠

（六）翡翠拼合石

将两块或两块以上翡翠经人工拼合给人以整体感觉是常见的翡翠原石作假行为。制作过程为，在没有颜色、质地较差的翡翠原石上切下一薄片，将切下的薄片涂上绿色颜料或植入绿色胶块后，再粘贴回去。然后再在其外部用粉碎的翡翠皮壳混合石英砂用胶粘结，目的是掩盖拼接缝。有时也将无皮壳的翡翠表面做皮，仿带皮的翡翠。但是经过这种方法拼合的翡翠原石皮壳质地较软、有胶感，缺少天然翡翠原石皮壳的结构（见图3-2-38）。



图3-2-38 翡翠的假皮壳

六、合成翡翠及其鉴别

1984年12月美国通用电器公司，在世界上首次人工合成了翡翠。方法是用粉末状钠、铝和二氧化硅加热至2700℃高温熔融，然后将熔融体冷却，固结成一种玻璃状物体。再将其磨碎，置于制造人造钻石的高压炉中加热。为了获得各种颜色的翡翠可以加入一定的致色离子：加少量的铬变成绿色；加多些铬就成黑色；加少量锰可以得到紫色等。这种高压下加热结晶的产物就是合成翡翠。

合成翡翠的成分、硬度、密度等方面与天然翡翠基本一致。但是合成翡翠颜色不正，透明度差。其物质组成主要是晶体粗大、具有方向性的硬玉矿物和玻璃质，两者的化学成分基本一致，接近硬玉矿物的组成。

由于合成翡翠的技术目前尚不成熟，针对合成翡翠研究的深度和广度比较欠缺，所以合成翡翠的鉴别相对比较容易。合成翡翠的透明度差，发干；颜色不正，比较呆板；不具有纤维交织结构，无“翠性”。

七、翡翠的质量评价

翡翠的质量评价可以从颜色、结构、透明度、净度、切工、重量六个方面进行，其涉及到行业中常提及的“种”、“水”、“色”、“地”、“工”等俗称。

1. 颜色

颜色是翡翠质量评价的关键。商业上经常从以下几方面对翡翠的颜色进行评价。

浓：是指翡翠颜色的饱和度要高。同一色调的饱和度越高颜色就越深，饱和度越低颜色就越浅。翡翠有许多种颜色，绿色是最主要的色彩，好的翡翠要求是浓淡相宜的翠绿色。

阳：指的是翡翠颜色的亮度要高。颜色鲜艳的翡翠给人以青春勃发的感觉。

正：指的是翡翠的色调要纯正，不含其他色调。正色翡翠的色彩饱和度可高可低，也就是颜色可浓可淡，但色彩的主色调一定要纯正，也就是纯的光谱色。如纯正的绿色翡翠应为正绿色或翠绿色；紫色翡翠要求是纯正的紫罗兰色。

翡翠通常会有偏色，一般是偏蓝色、偏黄色或偏灰色。如有偏色现象出现，则宁可偏黄不可偏蓝。如果翡翠绿色中含有黄色调（即偏黄）则称为“色阳”或“色嫩”；如果绿色中含有蓝色调（即偏蓝）则称为“色老”或“色硬”；如果翡翠的色调中含有蓝灰或黑灰调，使得翡翠的绿色变得阴暗、不通透，则称为“色阴”。

匀：指的是翡翠颜色分布的均匀程度。翡翠是同种或不同种矿物的集合体，颜色多呈点状、丝状、团块状分布，很难达到均匀。所以翡翠的颜色越均匀，其价值越高。

和：指的是翡翠不同颜色分布的和谐与否。翡翠经常出现不同颜色的组合，如“春带彩”、“福禄寿”、“刘关张”。不同的颜色搭配为翡翠的艺术创作提供了丰富的想象。

2. 结构

翡翠的结构是指其矿物颗粒的大小、形态及颗粒间结合方式，它直接影响翡翠的“种质”、“水头”、光泽和硬度等。颗粒细小，结合紧密的翡翠则显得温润细腻，是高档翡翠的必备条件；反之，颗粒粗大，结构松散的翡翠质量将明显下降。

3. 透明度

翡翠的透明度又称为“水头”。透明度的好坏在行业中常用“长”、“足”和“短”表示，称之为“水头长”、“水头足”或“水头短”；也可用“一分水”、“二分水”来表示。绝大部分翡翠都是不透明至半透明，透明者极为罕见。翡翠越透明表明其品质越高。

4. 净度

净度是指影响翡翠美观程度的因素，包括脏色和裂隙等，即所谓的“绺裂”。这些“绺裂”的存在将影响翡翠的美观，净度越高则翡翠的品质越高。

5. 切工（雕工）

翡翠的切工是指翡翠的选材设计、切割比例、雕刻工艺及抛光工艺等几个方面。对于素面翡翠要求切割比例适中，抛光优良；而对于玉雕制品的质量评价来说，工匠们的巧妙构思、娴熟技艺将起到决定性的作用。

6. 重量

翡翠制品的价值不受重量的严格限制，但是在颜色、质地、透明度等质量相同或相近的情况下，体积越大也就是重量越大，则其价值越高。

商业中常用“种”和“地”对翡翠进行综合质量评价。

“种”是指翡翠的矿物组成、颜色、结构、透明度等对翡翠品质的综合影响，又称为“种份”或“种质”。翡翠的种质按优劣程度常分为“老种”、“新老种”和“新种”。

“地”是指除去翡翠颜色之外的质量状况，也就是对翡翠颜色所附着的基质状况的描述，又称为“底子”或“地张”。翡翠的地子按优劣可分为：“玻璃地”、“冰地”、“糯化地”（“藕粉地”）、“豆地”、“瓷地”等几大类。但有时“种”、“地”的概念容易混淆，也有人称为“玻

璃种”、“冰种”、“糯化种”、“豆种”等。

一般可称翡翠为××色××种××地翡翠，如“阳绿色老种玻璃地翡翠”、“紫罗兰色新种豆地翡翠”。

八、翡翠的产地简介

翡翠的主要产地有，缅甸北部克钦邦的帕岗—道茂一带；危地马拉的Motagua谷地的中央；日本；俄罗斯Borus山和Sayan西部；哈萨克斯坦靠近巴尔喀什湖Itmurunby山等地。

世界上有95%以上的商业翡翠产于缅甸。缅甸翡翠的成因现仍存在争议，有区域变质成因说、岩浆成因说和交代成因等学说。

大约3500万年前（相当于第三纪），印度板块沿东北向与欧亚板块相撞，并俯冲于欧亚板块之下。这一碰撞不但使得缅北及滇西地区更加向东东北向挤压，而且还使青藏高原及云贵高原逐渐抬升，从阿帕龙到密支那形成一条弧形90°转弯折曲的雅鲁藏布江缝合线，并造成滇西地区的横断山脉的形成，同时侵入了大量碱性玄武岩和超基性岩。

缅甸翡翠矿床位于缅北抹谷西北的雾露河中上游地区。主要分为三个矿区：后江矿区、帕岗—道茂矿区、抹岗矿区，其中帕岗—道茂矿区是最大、最著名的矿区，也是最古老的矿区。

翡翠矿床类型分为两大类四种类型：原生翡翠矿床，次生翡翠矿床。次生翡翠矿床又可分为：第四纪砾岩层翡翠矿床、残坡积层翡翠矿床、现代河床翡翠矿床。

（一）原生翡翠矿床

原生翡翠矿床产出于道茂岩体的蛇纹石化橄榄岩之中。道茂原生矿床包括了四条矿脉，矿脉由硬玉和钠长石矿物组成的硬玉岩、钠长石硬玉岩和钠长石岩，呈脉状在蛇纹石化橄榄岩内产出。另外原生矿脉还见于格地莫、散卡、隆肯等地，这些矿脉被称为新场区，新场区的翡翠多为中低档次。

（二）次生翡翠矿床

次生翡翠矿床主要分布于钦敦江支流雾露河的冲积层，雾露河上游有两条东西流向的支流发源于翡翠原生矿分布地区。道茂矿山即为南支流的源头。这两条支流汇合于隆肯北边，并折向南流，河流冲积层发育，形成不同类型的次生翡翠矿床。

1. 第四纪砾岩层翡翠矿床

此类矿床属次生矿床，是原生翡翠矿床经构造运动、风化剥失、搬运分选沉积而成。

雾露河流域第四纪巨厚砾岩层是主要的翡翠矿床赋集层，分布在帕岗—道茂矿区的中南部，矿体呈长条状分布，长达几十千米，北北东走向，最宽处在麻蒙一带，宽6km，砾岩层的厚度可达300m，组成雾露河高层阶地。含硬玉岩的砾岩层为最底层，厚约15m。第四纪砾岩层的翡翠以砾石体积巨大为特点，是玉雕用翡翠的主要来源，底层砾岩中也含有优质翡翠。第四纪砾岩层翡翠矿床主要产地有次通卡、大谷地、灰卡、香拱等地老场区。

在第三纪砂岩、砾岩的沉积层也发现有硬玉的漂砾，只是这些矿床的规模较小，如仙洞场区。

2. 现代河流冲积型翡翠矿床

现代河流沉积型矿床是最有价值的翡翠矿床，它是由流经第四纪含翡翠砾岩层的雾露河及其支流搬运分选而成，与第四纪砾岩层翡翠矿床同属次生矿床，并且在成因上具有连带性。矿床主要分布于雾露河及其支流的河谷中，集中在散卡村到蒙麻地区雾露河下游约30km长的

河床中，优质翡翠矿床更是集中在帕岗和蒙麻一带。现代河流沉积型翡翠矿床所产翡翠具有比重大、硬度高、质地均匀、结构紧密、裂隙少等特点，多为高档首饰级翡翠，是老场区集中开采的矿床类型。

3. 残坡积翡翠矿床

残坡积翡翠矿床主要产出在山坡上，也属次生矿床，一般是原生矿床剥离后，经洪水或重力的搬运作用而成，砾石有了一定的分选性和磨圆度，但保有更多的原生矿床翡翠的特点。雾露矿区以龙塘矿床为代表，属新老厂，翡翠的质量介于原生矿与砂砾矿之间，产量较少。

另外，后江矿区、抹岗矿区与帕岗—朵莫矿区具有相同或相似的地质产出条件，也是两个非常重要的矿区。

后江矿区位于帕岗矿区的西北部。包括后江和雷打场两个采区。后江采区翡翠矿床沿后江分布，长约3km，宽100～200m，属现代河床沉积矿床，此采区出产的翡翠具有产量高、品种多、质量好等特点，属老场区。雷打场采区位于后江上游的一山坡上，为残坡积型矿床。翡翠矿床赋存于第四纪砂土层中，翡翠具有种干、硬度低、裂绺多、难以取料等特点，因其裂绺呈树枝状分布，像天空打雷时闪电的形状，故称之为雷打石，属新老厂，多为中低档翡翠。

抹岗矿区位于帕岗矿区南部，北邻恩多湖，属砾岩层沉积型翡翠矿床，有较悠久的开采历史，1910年王正坤所购正坤玉就产在其矿区。

第二节 软 玉

古往今来，软玉（和田玉、闪石玉）以其色泽光洁柔美、质地坚韧细腻、温润含蓄、符合国人的审美观念而深得人们的喜爱，人们将“仁”、“智”、“礼”、“义”、“信”的道德理念及社会财富、权利等一系列社会元素赋予和田玉之中。从7000年前的新石器时代开始，和田玉制品作为日常用品、饰品、祭器、礼器甚至葬器，已经成为人们生活中不可缺少的部分。历代琳琅满目的软玉制品，是中华民族灿烂文化的重要组成部分，也是人类艺术史上的辉煌成就，被誉为东方艺术。

一、软玉的基本性质

（一）矿物组成

软玉主要是由角闪石族中透闪石—阳起石类质同象系列的矿物所组成，其化学通式为：$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$，其中Mg、Fe间可呈完全类质同象代替。根据国际矿物协会新矿物及矿物命名委员会批准角闪石族分会推荐的尼克（B.E.Leake）的“角闪石族命名方案”，透闪石与阳起石的划分按照单位分子中二价镁和铁的占位比率不同予以命名，即：

$Mg/(Mg+Fe^{2+})=0.90\sim1.00$ 透闪石

$Mg/(Mg+Fe^{2+})=0.50\sim0.90$ 阳起石

$Mg/(Mg+Fe^{2+})=0.00\sim0.50$ 铁阳起石

软玉的主要矿物为透闪石，次要矿物有阳起石及透辉石、滑石、蛇纹石、绿泥石、绿帘石、斜黝帘石、镁橄榄石、粗晶状透闪石、白云石、石英、磁铁矿、黄铁矿、镁铁尖晶石、磷灰石、石榴石、金云母、铬尖晶石等。

（二）化学组成

透闪石——铁阳起石类质同象系列的化学成分为$Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$-$Ca_2Fe_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$，在多数情况下软玉是这两种端元组分的中间产物。

（三）晶系及结晶习性

软玉的主要组成矿物为透闪石和阳起石，都属单斜晶系。这两种矿物的常见晶形为长柱状、纤维状、叶片状，软玉是这些纤维状矿物的集合体。

（四）结构

软玉的矿物颗粒细小，结构致密均匀，所以软玉质地细腻、润泽且具有高的韧性。依据软玉矿物颗粒的大小、形态及颗粒结合方式，将软玉的结构分为下述6种。

（1）毛毡状交织结构（显微隐晶质结构）

矿物颗粒非常细小，在偏光显微镜下无法分清其轮廓，犹如毛毡状交织在一起，均匀无定向，密集分布，是软玉中一种主要的结构（见图3-2-39）。



图3-2-39 毛毡状交织结构

（2）显微叶片变晶结构

在偏光显微镜下，矿物颗粒呈片状，大致定向分布，是软玉中一种常见的结构（见图3-2-40）。

（3）显微纤维变晶结构

在偏光显微镜下，矿物多呈纤维状，定向分布（见图3-2-41）。

（4）显微纤维状隐晶质结构

在偏光显微镜下，由纤维状矿物和显微隐晶质的矿物所组成。

（5）显微片状隐晶质结构

由片状和显微隐晶质矿物所组成。

（6）显微放射状或帚状结构

矿物呈放射状或帚状分布（见图3-2-42）。



图3-2-40 显微叶片变晶结构

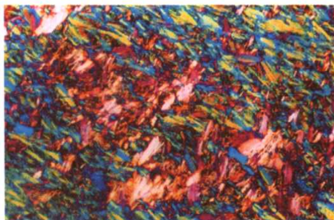


图3-2-41 显微纤维变晶结构

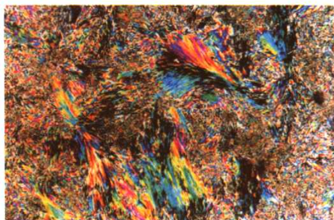


图3-2-42 显微放射状或帚状结构

（五）光学性质

1. 颜色

软玉的颜色有白色、青色、灰色、浅至深绿色、黄色至褐色、墨色等。当主要组成矿物为白色透闪石时则软玉呈白色，随着Fe对透闪石分子中Mg的类质同象替代，软玉可呈深浅不同的绿色，Fe含量越高，绿色越深。主要由铁阳起石组成的软玉几乎呈黑绿—黑色。当透闪石含细微石墨时则成为墨玉。

2. 光泽及透明度

软玉可呈油脂光泽、蜡状光泽或玻璃光泽；半透明至不透明，绝大多数为微透明，极少

数为半透明。

3. 折射率

软玉的折射率为1.606～1.632(+0.009，－0.006)，点测法：1.60～1.61。

4. 光性特征

非均质集合体。

5. 多色性

无。

6. 吸收光谱

软玉极少见吸收线，可在500nm、498nm和460nm有模糊的吸收线或吸收带；在509nm有一条吸收线；某些软玉在689nm有双吸收线。

7. 发光性

紫外线下软玉为荧光惰性。

（六）力学性质

1. 密度

2.95(+0.15，－0.05)g/cm^3。

2. 硬度

摩氏硬度为6.0～6.5。不同品种硬度略有差异，同一产地青玉的硬度大于白玉。

3. 韧度

软玉的韧度极高,仅次于黑金刚石。是常见宝玉石品种中韧度最高的宝石。

4. 解理、断口

透闪石具有两组完全解理，集合体通常不可见。断口为参差状。

（七）放大检查

可见毛毡状结构，黑色固体包体。

（八）特殊光学效应

未见。

二、软玉的品种分类

（一）按产出环境分类

(1) 原生矿

从原生矿床开采所得，呈块状，不规则状，棱角分明，无磨圆及皮壳。俗称“山料”（见图3-2-43）。

(2) 次生矿

从原生矿床自然剥离的残坡积或冰川堆碛的软玉，一般距原生矿较近，次棱角状，磨圆度差，通常有薄的皮壳，块度较大，俗称“山流水”（见图3-2-44）。

从原生矿床自然剥离，经过风化搬运至河流中的软玉，一般距原生矿较远，呈浑圆状、卵石状，磨圆度好，块度大小悬殊，外表可有厚薄不一的皮壳。俗称“仔玉”、“仔料”或“子料”（见图3-2-45）。皮壳分无色及有色，皮壳颜色多种，以红褐色居多，细分为秋梨皮、虎皮、枣皮等。

从原生矿床自然剥离，经过风化搬运至戈壁滩上的软玉，一般距原生矿较远，呈次棱角状，磨圆度较差，块度较小，表面有风蚀痕迹，无皮壳，俗称“戈壁料”（见图3-2-46）。


图3-2-43 山料


图3-2-44 山流水


图3-2-45 仔料


图3-2-46 戈壁料

（二）按颜色分类

（1）白玉

颜色白色，可略泛灰、黄、青等杂色，颜色柔和均匀，有时可带少量糖色或黑色（见图3-2-47）。

白玉中品质最好的称为羊脂玉，颜色呈羊脂白色，颜色柔和均匀，有时可带少量糖色。质地致密细腻，光洁坚韧，基本无绺裂、杂质及其他缺陷（见图3-2-48）。

（2）青玉

颜色有青至深青、灰青、青黄等色，颜色柔和均匀，有时可带少量糖色或黑色（见图3-2-49）。青玉产量最大，常有大料出现。

（3）青白玉

青白玉的颜色以白色为基础色，介于白玉与青玉之间，颜色柔和均匀，有时可带少量糖色或黑色（见图3-2-50）。


图3-2-47 白玉


图3-2-48 羊脂玉


图3-2-49 青玉


图3-2-50 青白玉

（4）墨玉

颜色以黑色为主（占60%以上），多呈叶片状、条带状聚集，可夹杂少量白或灰白色（占40%以下），颜色多不均匀（见图3-2-51）。墨玉的墨色是由于玉中含有细微石墨鳞片所致。墨色多呈云雾状、条带状分布，也有墨色中带有黄铁矿细粒，呈星点状分布，俗称“金星墨玉”。

（5）青花玉

基础色为白色、青白色、青色，夹杂黑色（占20%～60%），黑色多呈点状、叶片状、条带状、云朵状聚集，不均匀（见图3-2-52）。

（6）碧玉

颜色以绿色为基础色，常见有绿、灰绿、黄绿、暗绿、墨绿等颜色，颜色较柔和均匀，碧玉中常含有黑色点状矿物。是软玉的重要品种。但它决非石英质玉石中的“碧玉”（见图3-2-53）。

(7) 黄玉

颜色淡黄至深黄，可微泛绿色，颜色柔和均匀（见图3-2-54）。

黄玉十分稀少，价值甚至不低于羊脂玉，主要产于新疆的若羌县。这里应注意区分软玉中的黄玉和单晶宝石黄玉（托帕石）。



图3-2-51 墨玉



图3-2-52 青花玉



图3-2-53 碧玉



图3-2-54 黄玉

(8) 糖玉

颜色有黄色、褐黄色、红色、褐红色、黑绿色等。一般情况下，如果糖色占到整件样品80%以上时，可直接称之为糖玉（见图3-2-55）。

如果糖色占到整件样品30%～80%时，可称之为糖羊脂玉、糖白玉（见图3-2-56）、糖青白玉、糖青玉等。

糖色部分占到整件样品30%以下时，名称中不予体现（见图3-2-57）。

软玉中常有糖色分布，糖色属于次生色，当原生矿暴露于地表或近地表时，由于铁的氧化浸染而呈类似于红糖的颜色，俗称“糖色”。糖色可薄可厚，也可沿裂隙分布。



图3-2-55 糖玉



图3-2-56 糖白玉



图3-2-57 带糖色的白玉

三、软玉与相似宝石的鉴别

1. 石英岩

与软玉最为相似的是白色石英岩。在肉眼鉴定中软玉与白色石英岩有如下区别。

1）软玉大部分为油脂光泽，而石英岩具玻璃至油脂光泽。

2）软玉具纤维交织结构，十分细腻，其断口为参差状，而石英岩具粒状变晶结构，其断口为粒状。

3）一般情况下软玉的透明度低于石英岩。

4）同样大小的制品用手掂时，软玉较重，而石英岩则较轻。在试验室条件下，软玉的物理性质参数（折射率值、密度值等）与石英岩有着明显的差异（见表3-2-2）。

表 3-2-2 软玉及相似玉石的鉴别特征

名　称	结　构	n	ρ/g · cm^{-3}	H_M	矿物组成
软玉	纤维交织结构	1.61 ±	2.95 ±	6～6.5	透闪石为主
石英岩	粒状结构	1.54 ±	2.65 ±	7	石英为主
岫玉	纤维交织结构	1.56 ±	2.57 ±	2.5～6	蛇纹石为主
玉髓	隐晶质结构	1.54 ±	2.65 ±	6.5～7	玉髓为主
大理石	粒状结构	1.486～1.658	2.70 ±	3	以方解石为主
玻璃	非晶质结构	1.51	2.5	5～6	–

2. 岫玉

黄绿色软玉外观上可能与岫玉相似，白玉与白色岫玉也十分相似，因为岫玉的结构也很细腻，肉眼鉴定软玉与黄绿色岫玉的区别如下。

1）软玉主要为油脂光泽，而岫玉则主要为蜡状光泽。

2）大部分情况下软玉的透明度低于岫玉的透明度。

3）软玉的硬度明显高于岫玉，岫玉制品的棱角更趋于圆滑。

4）软玉制品往往颜色单一，而大块的岫玉制品可出现灰、黑、黄绿等几种颜色间杂的现象。在试验室条件下，岫玉与软玉是很易区别的。折射率、密度、硬度有很大差别，稍加注意，不难区分。

3. 玉髓

绿色玉髓外观上与绿色软玉相似，这是因为玉髓本身为隐晶质石英，颗粒极为细小，肉眼鉴定软玉与玉髓的区别：玉髓制品多为玻璃光泽；玉髓制品有较高的透明度；玉髓制品手掂较轻，且玉髓的折射率、密度低于软玉，而硬度却大于软玉。

4. 大理石

质地细腻、洁白的大理岩（俗称“阿富汗玉”或“巴玉”）常常用来仿白玉，但大理岩的密度、硬度均低于软玉，二者的折射率、光泽和结构也有很大差别，不难相互区别。

5. 玻璃

仿玉玻璃的特点是乳白色、半透明至不透明，常含有大小不等的气泡，贝壳状断口，折射率 1.51 左右，密度 2.5g/cm^3 左右，均明显低于软玉。在旧货市场上较为常见，俗称“料器”。

四、软玉的优化处理

软玉的优化处理通常有如下几类。

1. 浸蜡

以石蜡或液态蜡充填软玉成品表面，以掩盖裂隙、改善光泽。浸蜡的软玉带有蜡状光泽，有时可污染包装物，热针可熔，红外光谱可见有机物吸收峰。

2. 染色

选择软玉整体或部分进行染色，用来掩盖玉石的瑕疵，或用来仿仔料。颜色有黄色、褐黄色、红色、褐红色、黑绿色等。染色软玉的颜色鲜艳，不自然，多存在于表皮及裂隙中（见图3-2-58）。

3. 拼合

通常将糖玉薄片贴于白玉表面，然后进行雕刻，将多余部分的糖色雕刻掉，剩余的糖色部

分组成所要表现的图案，用来仿俏色浮雕。拼合软玉的特点是俏色部分的颜色与基底的颜色截然不同，无过渡，仔细观察可见拼合缝。

4. 磨圆

将粗加工的山料放入滚筒中，加入卵石和水滚动磨圆，用以仿仔料，俗称“磨光仔”。磨圆较差者反射光下隐约可见棱面（见图3-2-59）；磨圆较好者表面光洁度高于天然仔料（天然仔料的表面类似于鸡蛋皮），有时可见新鲜裂痕。

5. “做旧”处理

作为出土文物的古玉，因为埋藏年代久远，在各种侵蚀作用下会形成不同的“沁色”，如土黄色的“土沁”、红色的“血沁”、黑色的“水银沁”、灰白色的“石灰沁”等（见图3-2-60）。“做旧”处理的目的就是仿古玉。20世纪90年代以前仿古玉的“做旧”仍然采用传统的方法，即将仿旧的软玉（可做成残缺状）放入梅杏干水中煮几天，直到将玉上的杂质、裂纹、油脂腐蚀成不光亮状，或出现坑洼麻点后取出，在其产品表面涂以猪血或地黄、红土、炭黑、油烟等，再经火烤，使色浸入内部；擦拭干净后，再放入油、蜡锅中浸油，恢复表面油状光泽，即成仿旧玉。如果将这样的仿旧玉埋入地下半年、一年，再经常浇些水，取出后效果更好。有时为了仿古人玩过的旧玉效果，还用麦糠揉搓，用皮肤磨蹭，用皮子擦拭（俗称“盘玉”）。



图3-2-58 染色软玉



图3-2-59 磨圆软玉



图3-2-60 做旧软玉

从20世纪90年代开始，现代技术被引入仿古玉作旧领域，强酸、强碱和高温高压的应用，使得仿古玉制作水平大为提高。

玉石的“做旧”处理主要从颜色、所仿朝代的加工工艺及纹饰特征等方面进行鉴定，多属于文物鉴定范畴，在这里不做过多介绍。

五、软玉的质量评价

软玉主要用来做雕件和各种饰品。对原料的要求主要从以下几个方面考虑。

1. 质地

质地要求致密、细腻、坚韧、光洁，油润无瑕，少有绺裂。

2. 颜色

颜色要求柔和、纯正、均匀。古人对玉色的要求是“白如截脂”、“黄如蒸栗”、“青如苔癣”、“绿如翠羽”、“黑如纯漆”。软玉中历来以羊脂玉最为珍贵，是极为稀少珍贵的软玉品种。

3. 光泽

品质好的软玉多为油脂光泽，其次为油脂至玻璃光泽。

4. 块度

块度越大越好，要求完整、无裂。同样颜色、质地和块度的软玉，带皮的仔料价值较高，其次为山流水和山料。山料无磨圆，呈棱角状的外形，一般润性及韧性稍差。

5. 净度

软玉要求瑕疵越少越好，瑕疵主要包括石花、玉筋、石钉、黑点和绺裂等，将影响玉石的品质和出成率。

六、软玉的产地、矿床类型及特征

软玉原生矿床分布于中国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、新西兰等20多个国家。

（一）新疆软玉的分布及矿床特征

1. 新疆昆仑山和阿尔金山地区软玉矿床的分布及其特征

传统和田玉是指分布于新疆昆仑山和阿尔金山地区，成因为接触交代（中酸性侵入岩和镁质碳酸盐岩的接触带中）所形成的软玉。

（1）昆仑山地区软玉矿床分布及特征

昆仑山的软玉矿主要分布于塔什库尔干—叶城—皮山—和田—策勒和于田一带长达1000多千米的山中和河流中 。除各河流产仔玉外，原生矿床有十几处，集中分布在3个地区。

塔什库尔干—叶城地区　主要产出青白玉、青玉及少量的白玉。目前已知原生矿床有大同、密尔岱、库浪那古等处。大同软玉矿床在元代时曾大量开采，并设有碾玉作坊，已基本采尽。密尔岱是清代最重要的玉矿，以产大玉著名，清代贡玉也多来自此处，最著名的是现收藏于故宫博物院的“大禹治水图”青白玉山子（见图3-2-61）。



图3-2-61 “大禹治水图”青白玉山子

皮山—和田地区　是古代产玉最著名的地区，产出以仔料为主。产玉之河以玉龙喀什河和喀拉喀什河最为驰名。古时，前者称为白玉河，以产白玉仔料著名；后者称为墨玉河，以产墨玉和青玉仔料著名。已知原生矿床有皮山县赛图拉、铁日克和和田县阿格居改、奥米沙等处。赛图拉和铁日克地段位于喀拉喀什河上游区域，玉矿产地多，资源量大，多为青玉。阿格居改在玉龙喀什河支流的黑山附近，以产白玉、墨玉出名。

策勒—于田地区　河流中也产玉，但以原生矿著名。其分布于策勒县哈奴约提和于田县阿拉玛斯、依格浪古等地段。于田县阿拉玛斯玉矿是从清代开始一直到现代开采的重要矿床，以产白玉著名于世，是近百年来出产白玉山料的主要矿山。

（2）阿尔金山地区软玉矿床分布及特征

阿尔金山位于昆仑山的南段，是夹于塔里木盆地东南部和柴达木盆地西北部之间的山脉，地跨新疆、青海、甘肃三省区，其向东与祁连山相接，软玉主要分布于两个地区。

且末地区　这是阿尔金山产玉的主要地区。除河流中产玉外，原生矿床分布于且末县的东南，在长约110km范围内已知有5处产地，于海拔3500m以上的高山上，有塔什萨依、尤努斯萨依、塔它里克苏、布拉克萨依、哈达里克奇台等玉矿。塔它里克苏玉矿是目前新疆出产软玉原生矿的主要矿山，矿化带规模大，有多条矿脉和矿体，主要是青白玉和青玉，并有白玉和糖白玉。塔什萨依玉矿矿化带长十几千米，有矿体多个，是又一个重要产地。

若羌地区　分布于若羌县城的西南和南部，从瓦石峡到库如克萨依一带。该地区最著名的矿山是且末县的塔它里克苏，主要以产青白玉为主。库如克萨依玉矿古人已开采，20世纪90年代重新开采，是目前产玉的重要矿山之一。若羌是目前新疆黄玉的唯一产地。

2. 新疆玛纳斯碧玉的矿床分布及其特征

新疆玛纳斯碧玉分布于天山北坡，以玛纳斯河产出最著名，故被称为玛纳斯碧玉。原生矿床属于透闪石玉矿床中的超镁铁岩型，与新西兰、俄罗斯、加拿大的碧玉矿为同一类型。次生矿产于河流中。

（二）青海软玉分布及其特征

青海软玉在青海有三处产地。

一处是青海省格尔木市西南、距格尔木94km处的纳赤台，矿区位于青藏公路沿线的高原丘陵地区。该地产出的玉料以山料为主，少量山流水（戈壁）料，未见典型仔料。该矿点产出为白玉、青白玉、烟青玉、翠青玉、糖玉。其中烟青玉（烟灰色中略带紫灰色调）（见图3-2-62）和翠青玉（浅翠绿色）（见图3-2-63）是青海独有的软玉品种。青海软玉的特点是透明度较高且常有细脉状的“水线”，水线的成分多为定向排列的透闪石。

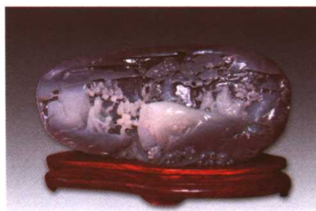


图3-2-62 烟青玉

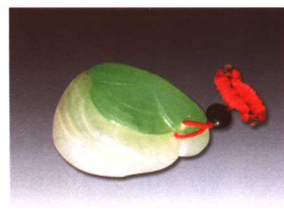


图3-2-63 翠青玉

第二处是位于纳赤台西北50km处的大灶台，早期以开采山流水为主，现以开采山料为主，产出品种以青玉为主。

以上两处矿点属昆仑山脉东沿入青海省部分，西距新疆若羌县境约300 km。在地质构造上与新疆且末、和田等玉石矿同属于昆仑造山带，在成因上都与岩浆岩与碳酸盐岩交代变质作用有关，所以说纳赤台软玉与若羌、且末等地产出的软玉有密切的关联性。

第三处为位于海北藏族自治州门源县及祁连县境内的祁连山脉，该产地主要出产青海碧玉。

（三）岫岩软玉矿床分布及其特征

原生软玉矿床产于岫岩县细玉沟沟头的山顶上，矿体赋存于元古宙辽河群大石桥组三段的透闪石白云质大理岩中的构造破碎带间，严格受地层层位和构造的控制。矿体呈不规则层状和透镜状产出，矿体与围岩的界线清楚。

岫岩软玉的矿物组成主要为不同形态的透闪石和少量的次要矿物，次要矿物一般不超过3%，主要有磷灰石、黄铁矿、榍石、透辉石、白云母、方解石、滑石、蛇纹石、石英等。

从原生矿采掘出来的透闪石玉料当地俗称“老玉”（见图3-2-64）。产于细玉沟外白沙河中及其流域的泥沙中的透闪石玉料当地俗称“河磨玉”，也叫“石包玉”（见图3-2-65）。

岫岩软玉的颜色有黄绿色、黄白色、绿色、黑色和白色几个基本颜色类型，其中黄绿色在新疆软玉中基本上没有，而新疆的青玉在岫岩软玉中基本上没有。

（四）俄罗斯贝加尔湖地区软玉的岩石学特征

俄罗斯贝加尔湖地区软玉的矿物组成主要为不同形态的透闪石和少量的次要矿物。次要矿物一般在5%左右，主要有阳起石、石英、白云石、磷灰石、帘石类矿物、磁铁矿和黏土矿物等。根据透闪石颗粒的形态，大



图3-2-64 老玉



图3-2-65 河磨玉

体分为两类：纤维—显微纤维透闪石和片晶透闪石。前者占大多数，含量一般在65%左右；后者占30%左右，多呈片柱状变斑晶出现，粒度较新疆软玉稍粗，并且存在着一定比例的过渡结构、中粗粒变斑晶结构及碎裂结构，从而影响了该地区软玉的品质。该地区的软玉绝大部分为山料，仔料很少。

矿体由于受到定向构造压力作用，发生碎裂，细小鳞片状或显微纤维状透闪石大致定向排列，并可见到透镜体的透闪石角砾、构造裂隙、节理缝等，在构造裂隙中还充填有其他矿物。这是贝加尔湖地区软玉中一种较为特殊的结构，这种结构的存在，破坏了毛毡状隐晶变晶结构，不同程度地降低了该地区软玉的品质。

俄罗斯软玉的品种主要为白玉（见图3-2-66）、青白玉、糖玉（见图3-2-67）、碧玉（见图3-2-68）等。俄罗斯软玉的糖皮与和田玉的指示意义不同，新疆和田玉的糖皮可作为判别是否为子料的一个依据，而俄罗斯软玉的糖皮大多是由于山料的裂隙或矿体边缘受到铁质浸染而成的。


图3-2-66 俄罗斯白玉


图3-2-67 俄罗斯糖玉


图3-2-68 俄罗斯碧玉

第三节　石英质玉石

石英矿物在地壳中分布广泛，以石英为主的玉石品种繁多。按照结晶程度可分为显晶质石英质玉石（石英岩、木变石等）和隐晶质石英质玉石（玉髓、玛瑙等）。石英质玉石的应用历史悠久，早在50万年前周口店北京人文化遗址中就发现有用玉髓制作的石器。

一、石英质玉石的基本性质

（一）矿物组成

石英质玉石的组成矿物主要是隐晶质—显晶质石英，另可有少量云母类矿物、绿泥石、褐铁矿、赤铁矿、针铁矿、粘土矿物等。

（二）化学组成

石英质玉石的化学组成主要是SiO_2，另外可有少量Ca、Mg、Fe、Mn、Ni、Al、Ti、V等元素的存在。

（三）晶系

石英质玉石的主要组成矿物石英属三方晶系。

（四）结构、构造

石英质玉石呈显微隐晶质—显晶质集合体。粒状结构、纤维状结构、隐晶质结构。块状、团块状、条带状、皮壳状、钟乳状构造。

（五）光学性质

1. 颜色

石英质玉石颜色丰富，常见白色、绿色、灰色、黄色、褐色、橙红色、蓝色等。石英质玉石纯净时为无色。当含有不同的微量元素（如Fe、Ni等）或混入其他有色矿物时，可呈现不同的颜色（见图3-2-69）。


图3-2-69 各种颜色的玉髓

2. 光泽及透明度

抛光平面可呈玻璃光泽、油脂光泽或丝绢光泽，断口一般呈油脂光泽。微透明—透明。

3. 光性

非均质集合体，正交偏光镜下无消光位。

4. 折射率

1.544～1.553，点测法常为1.53或1.54，个别可测到1.55。

5. 多色性

在集合体中无多色性。

6. 吸收光谱

一般无特征光谱，仅个别品种因含少量致色元素可产生特征的吸收光谱，如含铬云母的石英岩可具有682nm、649nm吸收带。

（六）力学性质

1. 密度

由于结晶程度和所含杂质的影响，密度会有一定的变化，一般在2.55～2.71g/cm^{3}左右。

2. 硬度

略低于单晶石英，摩氏硬度为6.5～7。

二、石英质玉石的品种

石英质玉石根据结构构造、矿物组合、矿物成因特点等可分为如下几种。

（一）隐晶质石英质玉石

根据结构、构造特点及次要矿物含量，隐晶石英质玉石可分为玉髓、玛瑙两个品种。

1. 玉髓

超显微隐晶质石英集合体，多呈块状产出。单体呈纤维状，杂乱或略定向排列，粒间微孔内充填水分和气体。可含Fe、Al、Ca、Ti、Mn、V等微量元素或其他矿物的细小颗粒。根据颜色和所含其他矿物，玉髓又可细分为以下品种。

1）白玉髓　灰白—灰色，成分单一。微透明—半透明。

2）红玉髓　红—褐红色，由微量Fe致色（部分样品经分析，Fe_2O_3质量分数在1.7%左右）。微透明—半透明。

3）绿玉髓　不同色调的绿色，由Fe、Cr、Ni等杂质元素致色，也可由细小的绿泥石、阳起石等绿色矿物的均匀分布引起颜色。微透明—半透明（见图3-2-70）。

澳大利亚出产的绿玉髓，又称澳洲玉或澳玉。颜色为均匀的绿色，由Ni致色，常带黄色色调和灰色色调，高品质者呈较鲜艳的苹果绿色。

4）蓝玉髓　灰蓝—蓝绿色，由所含蓝色矿物产生颜色。不透明—微透明。

台湾产蓝玉髓呈蓝色、蓝绿色，颜色均匀，由 Cu^{2+} 致色。硬度接近于 7。密度 2.58g/cm³ 左右。不透明—半透明。高质量的台湾蓝玉髓的颜色与高质量的天蓝色的绿松石颜色相近（见图 3-2-71）。



图 3-2-70　绿玉髓



图 3-2-71　台湾蓝玉髓

除以上四种玉髓外，还有一些含杂质较多的玉髓，杂质主要为氧化铁和粘土矿物，含量可达20%以上，在商业上俗称“碧玉”。它们多不透明，颜色呈暗红色、绿色。商业中常按颜色命名，如绿碧玉、红碧玉（又称羊肝石，见图3-2-72）；有时也可按特殊花纹来命名，如风景碧玉、血滴石等。其中风景碧玉是一种彩色碧玉，不同颜色的条带、色块交相辉映，犹如一幅美丽的自然风景画，故而得名；血滴石（见图 3-2-73）是一种暗绿色不透明—微透明的碧玉，其上散布着棕红色斑点，犹如滴滴鲜血，得名血滴石，血滴石最有名的产地为印度。



图 3-2-72 “羊肝石”



图 3-2-73　血滴石

2. 玛瑙

具条带状构造的隐晶质石英质玉石。按照颜色、条带、杂质或包体等特点可分为以下品种。

（1）按颜色分类

按颜色玛瑙可分为白玛瑙、红玛瑙、绿玛瑙、黑玛瑙等品种（见图 3-2-74）。

白玛瑙　灰—灰白色，纯白色很少见（见图 3-2-75）。白玛瑙中的条带状构造是由于颜色或透明度的细微差异所致。白玛瑙除大块、色较均匀者做雕刻品外，绝大部分需染色后才可使用。

红玛瑙　天然产出的红玛瑙很少有颜色很深的，多呈较浅的褐红色、橙红色。块体内不同深浅、不同透明度的红色条带与白色条带相间分布（见图3-2-76）。红色由细小的氧化铁颗粒引起。市场上出现的红玛瑙多是由热处理或人工染色而成的。

绿玛瑙　天然产出的绿玛瑙很少有颜色特别鲜艳的，多呈一种淡淡的灰绿色，其颜色由所含绿泥石等细小矿物产生。市场上出现的绿玛瑙多是由人工染色而成的。



图 3-2-74　各种玛瑙



图 3-2-75　白玛瑙

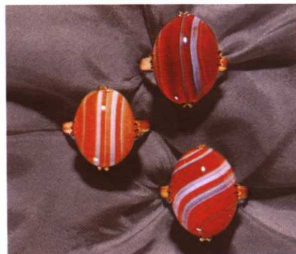


图 3-2-76　红玛瑙

（2）按条带分类

缟玛瑙　亦称条纹玛瑙，一种颜色相对简单、条带相对清晰的玛瑙。常见的缟玛瑙可有黑、白相间的条带或红、白相间的条带。当缟玛瑙的条带变得十分细窄时，又可称为缠丝玛瑙（见图 3-2-77）。较名贵的一种缠丝玛瑙由缠丝状红、白相间的条带组成。

（3）按杂质或包体分类

苔纹玛瑙　为一种具苔藓状、树枝状图形的含杂质玛瑙。一般绿色由绿泥石的细小鳞片聚集而成；黑色由铁、锰的氧化物聚集而成。苔纹玛瑙在工艺上有较高的价值，那些绿色、黑色图案给人以丰富的想象，因此苔纹玛瑙成为玛瑙中的名贵品种。

火玛瑙　在玛瑙的微细层理之间含有薄层的液体或红色板状赤铁矿等矿物包体。在光的照射下可产生干涉、衍射效应，如果切工正确，火玛瑙将显示五颜六色的晕彩（见图 3-2-78）。

水胆玛瑙　封闭的玛瑙晶洞中包裹有天然液体（一般是水），称为水胆玛瑙。当液体被玛瑙四壁（通常由微粒石英组成的不透明薄壳）遮挡时，整个玛瑙在摇动时虽有响声，但并无工艺价值；当液体位于透明—半透明空腔中时，这种玛瑙才有较大的工艺价值（见图 3-2-79）。

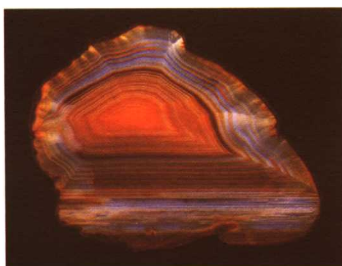


图 3-2-77　缠丝玛瑙



图 3-2-78　火玛瑙



图 3-2-79　水胆玛瑙工艺品

（4）其他商业品种

除上述分类外，产于南京地区的雨花石和西藏的天珠，其主要成分也是隐晶质的二氧化硅。

雨花石分为广义雨花石和狭义雨花石两大类。广义雨花石是指各种卵状砾石，它既包括千姿百态的玛瑙石，也包括各种色彩的燧石、硅质岩、石英岩、脉石岩、硅化灰岩、火山岩及蛋白石、水晶、紫水晶等（见图 3-2-80）。狭义的雨花石是指产于南京雨花台砾石层中的玛瑙。由于雨花石具有纹带状的显著特征，故古时称之为“文石”或“纹石”。

雨花石具有红、黄、蓝、绿、褐、灰、紫、白、黑等多种色调，且花纹变化万千，被誉为观赏石中“天下第一美石”。



图 3-2-80　雨花石

天珠是西藏宗教的一种信物。根据天珠表面圆形图案多少分为：一眼天珠、二眼天珠直至九眼天珠。其主要矿物成分为玉髓。市场常见的天珠多数经过优化处理。另外也有树脂、玻璃等材料制作的仿制品。

（二）显晶质石英质玉石（石英岩、东陵石）

显晶质石英质玉石由粒状石英颗粒集合体所组成。粒度一般为0.01～0.6mm。集合体呈块状，微透明至半透明。密度与单晶石英相近，2.64～2.71g/cm³。纯净者无色，若含有细小的其他有色矿物，可呈现出不同的颜色。商业中常以产地命名，如京白玉（产于北京郊区）、密玉（产于河南省新密市）、贵翠（产于贵州省）。显晶质石英质玉石的常见品种为东陵石。

东陵石是一种具砂金效应的石英质玉石，常含有其他颜色的矿物而呈现不同的颜色。含铬云母者呈现绿色，称为绿色东陵石（而我国新疆产的绿色东陵石内含绿色纤维状阳起石）；含蓝线石者呈蓝色，称为蓝色东陵石；含锂云母者呈现紫色，称为紫色东陵石。总体来讲，东陵石的石英颗粒相对较粗，其内所含的片状矿物相对较大，在阳光下片状矿物可呈现一种闪闪发光的砂金石效应。



图 3-2-81　东陵石

国内市场上最常见的是绿色东陵石（见图3-2-81），放大镜下可以看到粗大的铬云母磷片，大致定向排列，滤色镜下略呈褐红色。

（三）二氧化硅交代的玉石（木变石）

木变石亦称为硅化石棉，其原矿物为蓝色的钠闪石石棉，后期被二氧化硅所交代，但仍保留其纤维状晶形外观，呈纤维状结构。高倍显微镜下观察，“纤维”细如发丝，定向排列，交代的二氧化硅已具脱玻化现象，呈非常细小的石英颗粒。由于置换程度的不同，木变石的物理性质略有差异。SiO_2置换程度较高者，硬度接近于7，密度相对较低，一般来讲密度变化于2.64～2.71g/cm³之间。微透明至不透明。丝绢状光泽。根据颜色可将木变石分为虎睛石、鹰睛石等品种。

1. 虎睛石

为棕黄、棕至红棕色、黄褐色、褐色的木变石。黄褐色、褐色则是所含铁的氧化物——褐铁矿所致。成品表面可具丝绢光泽。当组成虎睛石的纤维较细、排列较整齐时，弧面型宝石的表面可出现猫眼效应（见图3-2-82）。



图 3-2-82　虎睛石

虎睛石的猫眼效应一般眼线较宽，左右摆动一般很少见到像金绿宝石猫眼那样的眼线的开合现象。

2. 鹰睛石

为灰蓝色、暗灰蓝色、蓝绿色的木变石。蓝色是残余的蓝色钠闪石石棉的颜色。也可具有猫眼效应。

3. 斑马虎睛石

是黄褐色、蓝色呈斑块状间杂分布的木变石。

三、石英质玉石的优化处理及其鉴别

石英质玉石的优化处理，主要采用热处理和染色两种方法，另外还有水胆玛瑙的注水处理等。

（一）热处理

用于热处理的品种主要有玛瑙和虎睛石。

不均匀的浅褐红色玛瑙直接在空气中加热，可以变成较均匀、较鲜艳的红色。这是因为玛瑙中含有少量褐铁矿。在高温氧化条件下，褐铁矿中的Fe^{2+}转换为Fe^{3+}，且水分被消除，褐铁矿转换为赤铁矿，从而使玛瑙变成较鲜艳的红色。

虎睛石的热处理原理与玛瑙相同。黄褐色的虎睛石在氧化条件下，加热处理可转变成褐红色。虎睛石在还原条件下加热处理可转变成灰黄色、灰白色，可用于仿金绿宝石猫眼。

（二）染色

目前市场上的绝大部分玉髓（玛瑙）制品是经过染色处理的。这其中又可分为有机染料直接浸泡致色和无机染料渗入、反应沉淀致色等。经染色处理的玉髓（玛瑙）表现为极其鲜艳均匀的红色、绿色、蓝色等（见图3-2-83）。玉髓（玛瑙）的染色属于优化。



图 3-2-83 经染色处理的各种颜色的玛瑙

石英岩的染色处理方法是先将石英岩加热，淬火后再染色。主要染成绿色，市场上俗称“马来西亚玉”。石英颗粒直径为0.03～0.3mm不等，摩氏硬度6.5～7，密度2.63～2.65g/cm³。放大检测可见染料在颗粒间分布，呈丝网状。分光镜下具650nm的宽吸收带（见图3-2-84）。短波荧光下可具暗绿色荧光，主要用来仿翡翠。

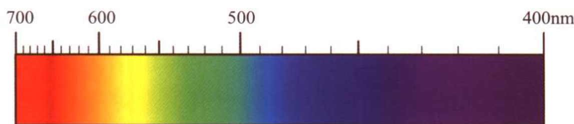


图 3-2-84 染色石英岩的吸收光谱

（三）水胆玛瑙的注水处理

当水胆玛瑙有较多裂隙或在加工过程中产生裂缝时，水胆中的水便会缓慢溢出，直至干涸，整个水胆玛瑙失去其工艺价值。处理的办法是将水胆玛瑙浸于水中，利用毛细作用，使水回填，或采用注入法使水回填，最后再用胶等将细小的缝堵住。其鉴定方法是在水胆壁上有无人工处理的痕迹。在可疑处用针尖轻轻刻划，若发现有胶质或蜡质充填的孔洞或裂隙，则可能经过注水处理。

四、石英质玉石与其仿制品的鉴别

石英质玉石的仿制品主要是玻璃。这些玻璃制品呈完全的玻璃质或半脱玻化。可有红、绿等颜色，有的还可具环带状结构。与玛瑙等石英质玉石相比，这些玻璃仿制品有着更低的密度和折射率，可含气泡，在正交偏光镜下多表现为完全消光或异常消光。

五、石英质玉石的质量评价

石英质玉石可用于制作各种饰物，如小挂件、手镯、项串、雕件、戒面等。其质量要求和评价可以从以下几个方面衡量：

1. 颜色

石英质玉石原料应有一定的颜色，或可以染成一定的颜色，如绿色、黄色、红色等。灰色、褐色杂色的石英岩质玉很难直接用于染色。颜色应相对均匀，成品颜色应越纯正越鲜艳越好。

2. 特殊的图案及包体

当石英质玉石原料的颜色能形成一定花纹、图案，如玛瑙内红白相间的色带有规律排列，形成缠丝玛瑙时，碧玉中的不均匀颜色能形成一种风景图案时，材料的价值将有所提高。

另外当石英质玉石内的有色矿物包体能形成一定图案时，如绿泥石磷片的排列形成的水草玛瑙、铁锰质杂质聚集形成的苔纹玛瑙的价值都要高于灰白色玛瑙。成品图案越美观越有意境越好。

水胆玛瑙的“水胆”越大、“水”越多、透明度越高其价值越高。

3. 质地

石英质玉石要求结构均匀细腻，结合致密，裂纹、杂质、“沙芯”越少越好。

4. 透明度

石英质玉石要有一定的透明度，完全不透明的材料较难设计和应用。

5. 块度

要求有一定的块度。

6. 加工工艺

石英质玉石原材料价值一般都很低，但在加工中如果构思巧妙、俏色新异、加工精细，同样可具有很高的价值，如我国传统玉雕的“虾盘”、“龙盘”、“水漫金山”（水胆玛瑙摆件）都被誉为国宝级雕件。

六、石英质玉石的产地简介

石英质玉石的产地多、产状各异。玉髓（玛瑙）矿床包括原生矿和次生矿两类。原生矿主要产于基性、中性岩中和火山侵入体、凝灰岩的气孔、裂隙中，由富含二氧化硅的胶体溶液充填冷凝而成。次生矿床由原生矿床风化淋滤、搬运而成。如南京的雨花石、内蒙古的玛瑙“湖”。我国已有二十多个省市发现玉髓（玛瑙）矿床。石英岩主要产于由区域变质作用和热液接触变质作用形成的石英岩中。而河南的密玉则产于变质石英岩的裂隙中，属于后期热液交代型矿床。木变石主要产于变质的石棉矿床中，如河南的内乡—淅川一带、贵州的罗甸等地。石英质玉石矿的产地很多，几乎世界各地都有产出。

第四节　欧　泊

“在一块欧泊石上，你可以看到红宝石般的火焰、紫水晶般的色斑、祖母绿般的绿海，五色缤纷、浑然一体、美不胜收。”这是古罗马的普林尼在《自然史》中对欧泊发出的由衷赞叹。欧泊一词是由英文名称“Opal”音译而成的。高质量的欧泊被誉为宝石的“调色板”，以其具有特殊的变彩效应而闻名于世。欧泊被定为金秋十月的生辰石。

一、欧泊的基本性质

（一）矿物组成

欧泊的组成矿物为蛋白石（Opal），另有少量石英、黄铁矿等次要矿物。

（二）化学组成

欧泊的化学成分为 $SiO_2 \cdot nH_2O$。含水量不定，一般为4%～9%，最高可达20%。

（三）结晶状态

非晶质体。

（四）光学性质

1. 颜色

欧泊的体色可有白色、黑色、深灰、蓝、绿、棕色、橙色、橙红色、红色等多种颜色。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至树脂光泽，透明至不透明。

3. 折射率

1.450(＋0.020，－0.080)，通常1.42～1.43，火欧泊可低达1.37。

4. 光性特征

均质体，火欧泊常见异常消光。

5. 多色性

无多色性。

6. 紫外荧光

黑色或白色体色的欧泊可具无至中等强度的白色、浅蓝色、浅绿色和黄色荧光，并可有磷光，有时磷光持续时间较长。

火欧泊可有无至中等强度的绿褐色荧光，可有磷光。

7. 吸收光谱

绿色欧泊的可见光光谱具660nm、470nm吸收线，其他颜色的欧泊吸收不明显。

（五）力学性质

1. 解理

无解理，具贝壳状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为5～6。

3. 密度

2.15(＋0.08，－0.90)g/cm³。

（六）内外部显微特征

欧泊内有时可有二相和三相的气液包体，可含有石英、萤石、石墨、黄铁矿等诸多的矿物包体。据报道，墨西哥欧泊中含有针状的角闪石。色斑呈不规则片状，边界平坦且较模糊，表面呈丝绢状外观。

（七）特殊光学效应

欧泊具典型的变彩效应，在光源下转动欧泊可以看到五颜六色的色斑。

猫眼效应稀少。

二、欧泊的品种

欧泊有许多品种，归总起来有四大类，即黑欧泊、白欧泊、火欧泊和晶质欧泊。

(1) 黑欧泊

体色为黑色或深蓝、深灰、深绿、褐色的品种，以黑色最理想，因为黑色体色使变彩效应显得更加鲜明夺目（见图 3-2-85）。

(2) 白欧泊

在白色或浅灰色体色上出现变彩的欧泊,透明至半透明（见图 3-2-86）。

(3) 火欧泊

无变彩或少量变彩的半透明—透明品种，一般呈橙色、橙红色、红色（见图 3-2-87）。

(4) “晶质”欧泊

具有变彩效应的无色透明至半透明的欧泊（见图 3-2-88）。



图 3-2-85 黑欧泊



图 3-2-86 白欧泊



图 3-2-87 火欧泊



图 3-2-88 “晶质”欧泊

三、合成欧泊及其鉴别

1974 年合成欧泊首次由吉尔森公司投入市场（见图 3-2-89）。



图 3-2-89 吉尔森合成欧泊

1. 合成欧泊的生产方法

虽然合成方法的细节保密，但一般认为合成欧泊的生产包括三个阶段。

(1) 氧化硅球体的形成

向在酒精和水的混合溶液中扩散呈小点滴形式存在的有机硅化合物中加入中强碱(如氨)，把硅化合物点滴变成氧化硅球体。试剂的纯度、浓度及搅拌的速度都必须小心控制，以生成大小相同的球体，并按照要求得到不同类型的欧泊品种，球体的直径为 200～300nm 不等。

(2) 沉淀

让氧化硅球体沉淀，一旦沉淀，这些球体就自动地采取紧密排列形式。这个阶段可能需要一年以上的时间。

(3) 压实和粘接

这个过程是最困难的，是生产合格欧泊材料的关键。氧化硅球体被液体覆盖，这时在各个方向上对球体施以同等的静水压力，以避免结构改变；最后球体可能被添加的胶体氧化硅粘接在一起，或者把材料烧结在一起。

2. 合成欧泊与天然欧泊的鉴别

用上述方法生产出的合成白欧泊、黑欧泊和具变彩效应的火欧泊，外观上完全可以以假乱真，但经过仔细的鉴定是可以将它们与天然欧泊区分开的。

(1) 结构

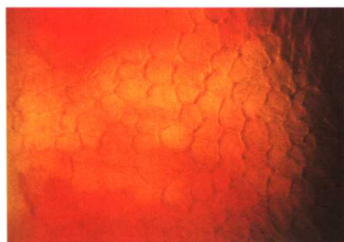


图 3-2-90 合成欧泊的镶嵌状结构

合成欧泊的色斑结构很特殊，它们往往呈柱状排列，具有三维形态。正对着合成欧泊的柱体看过去，柱体界线分明，边缘呈锯齿状，被紧密排列的交叉线所分割，从而产生一种镶嵌状结构。每个镶嵌块内可有蛇皮（或称为蜥蜴皮）状、蜂窝状或阶梯状的结构。而天然欧泊的色斑是二维的，色斑呈不规则片状，边界平坦且较模糊（见图 3-2-90）。

此外，合成火欧泊中还可见到台藓状多棱的包体。

(2) 发光性

紫外线下的反应也可作为区分天然和合成欧泊的一种辅助手段：大多数天然的欧泊有持续的磷光；而合成白色欧泊几乎没有磷光，合成欧泊在长波紫外线照射下比天然欧泊更透明。

(3) 红外光谱

在红外光谱的鉴定中合成欧泊与天然欧泊的水分子振动谱有着较明显的差异，为鉴定提供了依据（见图 3-2-91）。

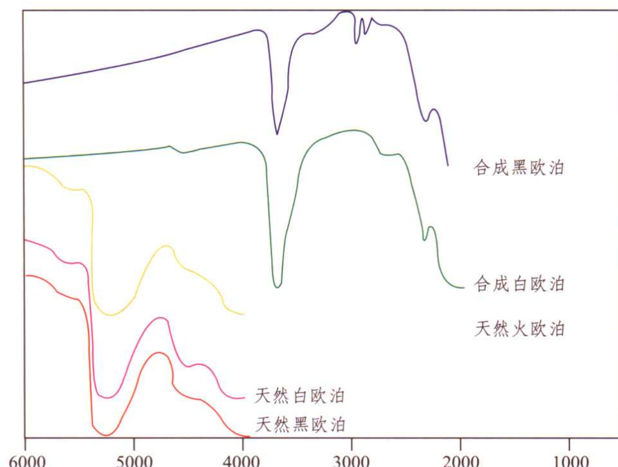


图 3-2-91 欧泊的红外光谱图

四、欧泊的优化处理、拼合及其鉴别

1. 拼合

目前市场上最常见的拼合宝石就是拼合欧泊。因为欧泊主要为沉积成因或呈细脉状产出，有时欧泊太薄，不能琢磨成宝石。这种材料可以用粘合剂把它和玉髓片或劣质欧泊片粘接在一起，作为欧泊两层石；或在欧泊两层石的顶部加一个石英或玻璃顶帽来增强欧泊的坚固性，而成为欧泊三层石（见图 3-2-92）。

另外，市场上还常见一种用欧泊碎屑作为中间层的拼合欧泊（见图 3-2-93）。

拼合欧泊在强顶光下放大检查，可以看到平直的接合面，在接合面上大多可以找到球形或扁平形状的气泡。如为三层拼合，从侧面看，其顶部不显变彩，折射率高于欧泊。如未镶嵌从侧面可看到接合痕迹及颜色、光泽上的差别。

这种拼合欧泊要注意与带围岩的天然欧泊（又称为漂砾欧泊）相区别，欧泊与围岩间的界线呈自然的过渡状，结合缝不平直（见图 3-2-94）。

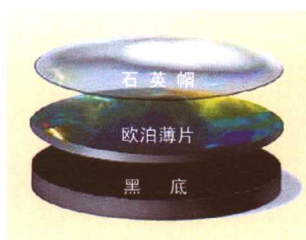


图 3-2-92　拼合欧泊



图 3-2-93　欧泊碎屑拼合欧泊

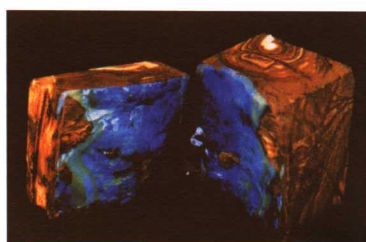


图 3-2-94　带围岩的欧泊

2. 糖酸处理

方法始于 1960 年，目的是仿黑欧泊。过程如下。

1）清洗

预先清洗，在低于 100℃下烘干。

2）浸泡

将欧泊放在热糖溶液中浸泡几天，等欧泊慢慢冷却后快速擦净多余的表面糖汁，然后放入 100℃左右的浓硫酸中浸泡1～2 天，再慢慢冷却。

3）冲洗

将欧泊仔细冲洗后，再在碳酸盐溶液中快速漂洗一下，然后冲干净，这样糖中的氢和氧被去掉，而第三种元素碳留在欧泊裂纹和孔隙中，从而产生暗色背景。

这种欧泊经放大观察，色斑呈破碎的小块并局限在欧泊的表面，结构为粒状，可见小黑点状炭质染剂在彩片或球粒的空隙中聚集(见图 3-2-95)。

3. 烟处理

烟处理的目的也是仿黑欧泊。用纸把欧泊裹好，然后加热，直到纸冒烟为止，这样可产生黑色背影，但这种黑色仅限于表面。另外用于烟处理的欧泊多孔，密度较低，其密度值仅为 1.38～1.39g/cm^3，用针头触碰，烟处理的欧泊可有黑色物质剥落，有粘感(见图 3-2-96)。

4. 注塑处理

在天然欧泊里注入塑料，以掩盖裂隙或使其呈现暗色的背景。注塑欧泊密度较低，约 1.90g/cm^3，可见黑色集中的小块，比天然欧泊透明度高，用热针触及，可有塑料的辛辣味。在红外光谱的鉴定中，注塑欧泊将显示有机质引起的吸收峰（见图 3-2-97）。

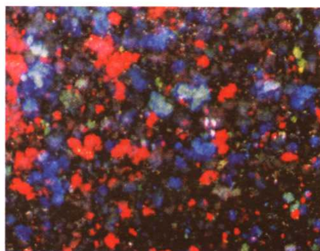


图 3-2-95　糖酸处理欧泊

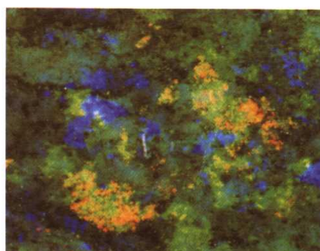


图 3-2-96　烟处理欧泊



图 3-2-97　注塑处理欧泊

5. 注油处理

用注油和上蜡的方法来掩饰欧泊的裂隙，这种材料可能显蜡状光泽，当用热针检查时有油或蜡渗出。

五、欧泊与其仿制品、易混宝石的鉴别

1. 塑料

欧泊的塑料仿制品在外表上与真品很像，但细心观察色斑可发现它缺少天然欧泊的典型结构，并可能存在气泡，在正交偏光下可见异常消光，有时在气泡周围还可出现应变痕迹。

塑料的折射率较高，一般在1.46～1.70之间，而天然欧泊为1.45。

塑料的密度为1.05～1.55 g/cm³，比欧泊的密度（2.15g/cm³ ±）低得多。小心地用针探查，针尖将会扎入塑料仿制品中，塑料的硬度为2.5，而欧泊为5～6。

2. 玻璃

较能迷惑人的玻璃仿制品称为“斯洛卡姆石”。在斯洛卡姆石的无色透明或彩色玻璃主体内，包含着一些长条状或片状的彩片，这些彩片有可能是不同颜色的玻璃薄片，也可能是不同颜色的金属片。在整体外观上斯洛卡姆石与天然欧泊十分相像，但在显微镜下仔细观察可以发现，这些彩片具有固定不变的界线，边缘相对整齐，它们缺少天然欧泊的结构特征，而更像一片片皱起的有色金属片，并可见到气泡（见图3-2-98）。



图3-2-98 斯洛卡姆石

玻璃折射率为1.470～1.700，而欧泊为1.45。玻璃密度为2.30～4.50g/cm³，而欧泊为2.1g/cm³。

3. 拉长石和火玛瑙

具有变彩的拉长石可能与欧泊混淆，但它的结构和包体都是有特色的，拉长石发育有解理，板条状或针状的黑色金属包体也常见。火玛瑙外表极像欧泊，但玛瑙的折射率为1.53左右，密度为2.6g/cm³左右，都比欧泊大。

六、欧泊的质量评价

下列因素是评估欧泊原石的价值时应重点考虑的。

1. 颜色

一般来说黑欧泊比白欧泊或浅色欧泊价值更高。

2. 变彩

高质量的欧泊应变彩均匀、完全，无变彩的部分越少越好。变彩的颜色可出现单一颜色，变彩色斑颜色依蓝、绿、黄、橙、红其价值逐渐增高。变彩的颜色也可是组合色,颜色越丰富越好，越明亮越好。

3. 净度

欧泊不应有明显的裂痕和其他杂色包体，否则其耐久性和美观度将受影响。

4. 大小

欧泊的体积越大越好。

七、欧泊的产地简介

欧泊是在表生环境下由硅酸盐矿物风化后产生的二氧化硅胶体溶液凝聚而成的，也可由热水中的二氧化硅沉淀而成。其主要的矿床类型有风化壳型和热液型。

澳大利亚是世界上最重要的欧泊产出国，主要产区在新南威尔士、南澳大利亚和昆士兰，其中新南威尔士所产的优质黑欧泊最为著名。

墨西哥：以其产出的火欧泊和晶质欧泊而闻名，主要产出于硅质火山熔岩溶洞中。
巴西：北部的皮奥伊州是除澳大利亚外最重要的欧泊产地之一。
美国：主要产区在内华达州。
其他的产地还有洪都拉斯、马达加斯加、新西兰、委内瑞拉等。

第五节　蛇 纹 石 玉

蛇纹石玉（岫玉）在自然界分布广泛，因产地不同而有不同的玉石名称，如广东的信宜玉、广西的陆川玉、甘肃的酒泉玉、新疆的昆仑玉，以及美国、新西兰和阿富汗的鲍文玉、朝鲜玉等等。岫玉是中国古老的传统玉种，在1万多年前，辽宁海城小孤山文化遗址中有岫玉制成的砍凿器，汉代的金缕玉衣大部分也是由岫玉片制成的。

一、蛇纹石玉的基本性质

（一）矿物组成

蛇纹石玉的主要组成矿物是蛇纹石（Serpentine），次要矿物有方解石、滑石、磁铁矿、白云石、菱镁矿、绿泥石、透闪石、透辉石、铬铁矿等。次要矿物的含量变化很大，对蛇纹石玉的质量有着明显的影响，个别情况下次要矿物的含量可超过半数而上升为主要组成矿物。

以我国辽宁岫岩县为例，其中纯蛇纹石玉的蛇纹石含量大于95%，次要矿物有白云石、菱镁矿、水镁矿、绿泥石等共占5%；透闪石蛇纹石玉中蛇纹石含量大于70%，而次要矿物透闪石含量可达20%～30%，另有少量碳酸盐矿物等；绿泥石蛇纹石玉中蛇纹石含量大于65%，次要矿物绿泥石及少量碳酸盐矿物总含量达35%左右；蛇纹石透闪石玉中透闪石含量大于75%，次要矿物蛇纹石、透辉石约占25%。

（二）化学组成

蛇纹石是层状含水镁硅酸盐矿物，化学式为$(Mg,Fe,Ni)_3Si_2O_5(OH)_4$，六次配位的Mg可被Mn、Al、Ni、Fe等置换，有时还可有Cu、Cr的混入。

而对于蛇纹石玉来说，化学成分受其矿物组合的影响。一般情况下，纯蛇纹石玉的化学成分接近蛇纹石矿物各种组分的理论含量。当玉石中透闪石含量增加时，化学成分变成高硅、富钙、贫镁。当玉石中绿泥石含量明显增加时，化学成分相对贫镁、贫硅而富铝。

（三）结晶状态

蛇纹石属于单斜晶系，呈细粒叶片状或纤维状隐晶质集合体产出。

（四）结构构造

叶片状、纤维状交织结构，常见均匀的致密块状构造，有时可见脉状、片状、碎裂状构造。

蛇纹石玉的组成矿物十分细小，肉眼鉴定时很难分辨其颗粒，只有在断口处可见一些片状、纤维状的定向生长特点。

在高倍显微镜下，可见蛇纹石玉内细小的粒状、纤维状矿物呈块状集合体，略具定向排列。

（五）光学性质

1. 颜色

蛇纹石矿物本身为无色至淡黄色、黄绿色至绿色。

蛇纹石玉的颜色除受蛇纹石本身的颜色影响外，还受矿物共生组合的影响。常见的蛇纹石玉主要有黄绿色、深绿色、绿色、灰黄色、白色、棕色、黑色及多种颜色的组合（见图3-2-99）。



图 3-2-99 岫玉雕件

2. 光泽及透明度

蜡状光泽至玻璃光泽，半透明至不透明。

3. 光性

蛇纹石玉为非均质矿物集合体，正交偏光下无消光位。

4. 多色性

无。

5. 折射率

点测法常为 1.560～1.570(＋0.004，－0.070)。

6. 发光性

在紫外灯下蛇纹石表现为荧光惰性，有时在长波紫外线下可有微弱的绿色荧光。

7. 吸收光谱

不具特征吸收谱。

（六）力学性质

1. 解理

无解理，断口呈参差状。

2. 硬度

受组成矿物的影响，摩氏硬度变化于2.5～6之间。纯蛇纹石玉的硬度较低，在3～3.5左右，而当其中透闪石等混入物含量增高时，硬度加大。

3. 密度

2.57(＋0.23，－0.13)g/cm^3。

（七）内外部显微特征

放大检查时，可见到蛇纹石黄绿色基底中存在着少量黑色矿物，灰白色透明的矿物晶体，灰绿色绿泥石鳞片聚集成的丝状、细带状和由颜色的不均匀而引起的白色、褐色条带或团块。叶片状、纤维状交织结构。

（八）特殊光学效应

猫眼效应（极少）。

二、蛇纹石玉的品种

蛇纹石玉的产地非常多，不同产地的蛇纹石玉矿物组合各异，表现在颜色等特征上也各有特点。除辽宁岫岩县外，中国蛇纹石玉产地非常广泛，比如：

酒泉蛇纹石玉　产于中国甘肃省祁连山地区，为一种含有黑色斑点或不规则黑色团块的暗绿色蛇纹玉石（见图 3-2-100）。

信宜蛇纹石玉　产于中国广东省信宜县，为一种含有美丽花纹的质地细腻的暗至淡绿色块状蛇纹石玉，俗称“南方玉”(见图 3-2-101)。

陆川蛇纹石玉　产于中国广西陆川县，主要有两个品种，其一为带浅白色花纹的翠绿—深绿色、微透明至半透明的较纯蛇纹石玉；另一种为青白—白色、具丝绢光泽、微透明的透闪石蛇纹石玉。

台湾蛇纹石玉　产于中国台湾花莲县，其内常含有铬铁矿、铬尖晶石、磁铁矿、石榴石、绿泥石等矿物包体，而呈具黑点或黑色条纹、半透明、油脂光泽、草绿—暗绿色的蛇纹石玉。

国外较著名的产地有新西兰的“鲍文玉（Bowenite)”和美国宾州的“威廉玉（Williamsite)”。前者较纯净，质地细腻，半透明，淡黄绿—淡灰绿色；后者含斑点状铬铁矿，深绿色，半透明(见图 3-2-102)。


图 3-2-100 酒泉玉


图 3-2-101 南方玉


图 3-2-102 鲍文玉

在传统习惯上，蛇纹石玉常以产地命名，因此出现了信阳玉、陆川玉、台湾玉等名称。这些名称在市场上常引起混乱，使购买者无法了解所购物的本质是什么，因此在珠宝玉石的国家标准中规定宝石级蛇纹石，均以“蛇纹石玉”或“岫玉”统一命名。

三、蛇纹石玉与相似玉石的鉴别

1. 软玉

有些软玉与蛇纹石玉在外表上比较相似，但是软玉的折射率（1.61 ±)、硬度（H_M=6～6.5）和密度（2.95g/cm^3 ±）高于蛇纹石玉。历史上许多误认为是软玉的雕件实际上是蛇纹石玉。蛇纹石玉与软玉的详细鉴别见软玉一节。

2. 翡翠

某些翡翠有可能与蛇纹石玉相似，但翡翠折射率（1.66 ±)、硬度（H_M=6.5～7）和密度（3.33g/cm^3 ±）都明显高于蛇纹石玉。放大检查中可以发现翡翠有解理面的反光（翠性)，而蛇纹石玉没有。

有些品种的蛇纹石玉遇盐酸、硫酸分解，而软玉、翡翠无此情况。

3. 玉髓

玉髓的折射率低于蛇纹石玉。也可用小刀在不显眼的地方刻划，玉髓将不能被刻划，而蛇纹石玉可被刻划。

4. 玻璃

玻璃为均质体，而蛇纹石玉为非均质集合体，无消光位。放大观察，玻璃内可具气泡，且断口为贝壳状，呈玻璃光泽。

四、蛇纹石玉的优化处理及其鉴别

蛇纹石玉的优化处理主要有：染色、蜡充填与“做旧”处理。

1. 染色

染色蛇纹石玉是通过加热淬火处理，产生裂隙，然后浸泡于染料中进行染色。染色蛇纹石玉的颜色集中在裂隙中，放大检查很容易发现染料的存在。铬盐染绿色者可具650nm宽吸收带（见图3-2-103）。

2. 蜡充填

这种方法主要是将蜡充填于裂隙或缺口中，以改变样品的外观，充填的地方具有明显的蜡状光泽，用热针试验可以发现裂隙处有“出汗”现象，即蜡可从裂隙中渗出来，同时可以嗅到蜡的气味。

3. “做旧”处理

蛇纹石玉中质地较粗者常常“做旧”用来仿古玉。做旧的方法有加热熏烤、强酸腐蚀、染色形成各种“沁色”（见图3-2-104），有的最后再人工致成残缺状来仿古玉。古玉的鉴别属于文物鉴别范畴，在此不作更多论述。

五、蛇纹石玉的质量评价

蛇纹石玉原料的质量主要根据颜色、透明度、质地、净度、块度等进行评价。

蛇纹石玉中的绿至深绿色、高透明度、无瑕疵、无裂隙、块度大者其价值较高（见图3-2-105）。



图3-2-103 被染成红色的岫玉镯



图3-2-104 染色处理用来仿古玉的蛇纹石玉



图3-2-105 世界最大玉佛——鞍山玉佛

六、蛇纹石玉的产状及产地简介

蛇纹石玉的生成与热液交代有关。富含Mg的岩石如超基性岩或白云岩经热液交代作用可以形成蛇纹石。在矽卡岩化作用的后期往往有蛇纹石生成。

蛇纹石玉产出国较多，主要有中国、新西兰、美国等。中国著名的产地是辽宁，分布在岫岩、宽甸、凤城、丹东和海城一带，其中岫岩储量最大，在岫岩境内有北瓦沟、瓦沟、细玉沟、哈镇、大房身、偏岭等10多处蛇纹石玉产地。

第六节　绿　松　石

绿松石又叫松石，因其“形似松球、色近松绿”而得名。在国外，绿松石被称为“土耳其玉”。其实，土耳其这个国家并不出产绿松石，而是古代波斯出产的绿松石经土耳其输入欧洲，于是人们就习以为常地把绿松石称为“土耳其玉”。在中国清代以前，绿松石被称为“甸子”。色泽淡雅、绚丽的绿松石是深受古今中外人士喜爱的传统玉石，作为佩戴和使用已有

5000年以上的历史。在美国等西方国家，人们把绿松石作为镇妖、避邪的圣物和吉祥、幸福的象征。绿松石是十二月的生辰石。

一、绿松石的基本性质

（一）矿物组成

绿松石（Turquoise）玉主要组成矿物是绿松石，另外绿松石常与埃洛石、高岭石、石英、云母、褐铁矿、磷铝石等共生，高岭石、石英、褐铁矿等加入的比例将直接影响绿松石的品质。

（二）化学组成

绿松石为一种含水的铜铝磷酸盐，化学式为$CuA1_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 5H_2O$。理论成分为$P_2O_5$ 34.12%，Al_2O_3 36.84%，CuO 9.57%，H_2O 19.47%。自然界产出的绿松石与理论成分有很大差别。

晶体中PO_4^{3+}四面体和Al、Fe的八面体配位体通过公用的O—H键相结合，而Cu^{2+}离子则分布于上述混合骨架的空隙中，并被$4OH^-$和$2H_2O$所围绕。绿松石的结构及Cu^{2+}离子决定了它的基本颜色为天蓝色，另含Fe、Zn等杂质元素。铁在化学成分中可以替代部分铝，使绿松石呈现绿色，水的含量也影响着蓝色的色调。

（三）晶系及结晶习性

绿松石属三斜晶系，平行双面晶类，偶见有短柱状单晶，晶体极少见，只有在显微镜下才能见到。通常见到的绿松石多为隐晶质—非晶质集合体。

（四）结构、构造

绿松石通常呈致密块状、块状、皮壳状等隐晶质集合体（见图3-2-106）。断口为贝壳状—粒状（与孔隙度有关）。

绿松石的原石大致可分出结核状、浸染状、细脉状三种。

（五）光学性质

1. 颜色

绿松石具有独特的天蓝色，人们称之为“绿松石色”。绿松石的常见颜色为浅至中等蓝色、绿蓝色至绿色，常伴有白色细纹、斑点、褐黑色网脉（铁线）或暗色矿物杂质（见图3-2-107、3-2-108）。



图3-2-106 绿松石原石



图3-2-107 绿松石



图3-2-108 绿松石珠串

绿松石的颜色可分为蓝色、绿色、杂色三大类：蓝色包括蔚蓝、蓝，色泽鲜艳；绿色包括深蓝绿、灰蓝绿、绿、浅绿以至黄绿；杂色包括黄色、土黄色、月白色、灰白色。

绿松石是一种自色矿物，Cu^{2+}离子的存在决定了其蓝色的基色，而铁的存在将影响其色

调的变化。绿松石中Fe_2O_3与Al_2O_3的含量呈反消长关系，随着Fe^{3+}离子含量的增加，绿松石则由蔚蓝色变为绿色、黄绿色。绿松石中水含量一般在15%～20%之间，其间水以结构水、结晶水及吸附水三种状态存在。随着风化程度的加强，绿松石中结晶水、结构水的含量逐渐降低，结晶水、结构水的脱出与铜的流失一样，将导致绿松石结构完善程度的降低，随着Cu^{2+}和水的逐渐流失，绿松石的颜色将由蔚蓝色变成灰绿色以至灰白色。

2. 光泽与透明度

蜡状光泽、油脂光泽，抛光很好的平面可达到玻璃光泽。一些浅灰白色的绿松石具土状光泽。

3. 光性特征

非均质集合体。

4. 折射率与双折射率

单晶绿松石的三个折射率分别为n_g=1.65、n_m=1.62、n_p=1.61，双折射率为0.040。在宝石检测中，测得绿松石集合体的折射率在1.610～1.650之间，点测法通常为1.61。双折射率：集合体不可测。

在绿松石的检测中应避免绿松石与折射率液长久接触，以防止绿松石被测部分变色。

绿松石的折射率值与其品质有着密切的关系。在实验室中详细测定绿松石的折射率可以发现，不同颜色的绿松石折射率值稍有差异。鲜艳的天蓝色绿松石折射率较低，为1.623～1.630；绿色或略带黄色色调的绿松石折射率值明显增高，为1.641～1.670，这是由于成品中铁含量增高所致；灰白色绿松石折射率值最低，为1.617～1.626，这与其结构的部分破坏有关。

5. 多色性

无。

6. 发光性

在长波紫外线下，绿松石一般无荧光或荧光很弱，呈现一种黄绿色弱荧光。而短波紫外线下绿松石则无荧光。

7. 吸收光谱

在强的反射光下，在蓝区420nm处有一条不清晰的吸收带，432nm处有一条可见的吸收带，有时于460nm处有一条模糊的吸收带（见图3-2-109）。

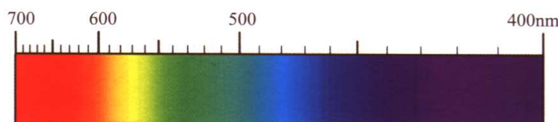


图3-2-109 绿松石吸收光谱

（六）力学性质

1. 解理

绿松石多为块状集合体、结核状集合体，无解理。

2. 硬度

摩氏硬度为5～6。硬度与品质有一定的关系，高品质的绿松石硬度较高，而灰白色、灰黄色绿松石的硬度较低，最低为3左右。

3.密度

绿松石的密度为2.76(+0.14，－0.36)g/cm³。高品质的绿松石，其密度应在2.8～2.9g/cm³之间。多孔绿松石的密度有时可降到2.40。

（七）放大检查

常见暗色基质，即常有黑色斑点或线状铁质或炭质包裹。

绿松石成品在结构、构造上常有一些典型特征。

1）绿松石在绿色、蓝色的基底上常可见一些细小的、不规则的白色纹理和斑块，它们是由高岭石、石英等白色矿物聚集而成的。

2）绿松石中常有褐色、黑褐色的纹理和色斑，宝石界称为铁线，它是由褐铁矿和炭质等杂质聚集而成的。个别样品中可以见到微小蓝色的圆形斑点，这是由沉积作用形成的。

（八）其他性质

1）绿松石是一种非耐热的玉石，在高温下绿松石会失水、爆裂，变成一些褐色的碎块。在阳光的照射下也会发生干裂和褪色。

2）在盐酸中绿松石可溶解，但速度很慢。

3）绿松石孔隙发育，所以鉴定过程中，绿松石不宜与有色的溶液接触，以防有色溶液将其污染。

二、绿松石的品种

目前珠宝界对于绿松石的品种划分，没有严格的标准。

1. 按颜色分类

按照颜色的不同，可以将绿松石分为天蓝色、深蓝色、浅蓝色、蓝绿色、绿色、黄绿色、浅绿色等品种。

2. 按结构构造分类

（1）晶体绿松石

一种极为罕见的透明绿松石晶体，粒度很小，琢磨的成品宝石不足1ct，已知仅产于美国弗吉尼亚州。

（2）致密块状绿松石

一种致密的绿松石集合体，摩氏硬度在5～6之间，外表可呈团块状、结核状，外层常有灰褐色、黑褐色、黄褐色包壳，包壳内部可见到颜色鲜艳均匀、质地细腻、无缺陷的高品质绿松石。绿松石断口呈贝壳状，抛光后光泽似瓷器，故俗称“瓷松”。这种绿松石为首饰和玉器加工的主要材料。

（3）块状绿松石

一种受到不同程度风化的绿松石，摩氏硬度低于5，外表仍呈团块状，外层带有灰白色、灰黄色包壳，其中绿松石的颜色一般为浅灰蓝色、浅蓝绿色等，质地较疏松。断口呈粒状，用指甲能刻划，故俗称“面松”。有的块料可用作玉雕材料。

泡松：指比面松还软的绿松石，质地很差，为劣等品，不能用做玉雕材料。这种绿松石常作为优化处理的原料，多经人工着色、注胶或注蜡处理。

（4）浸染状绿松石

一种呈浸染状充填于围岩角砾间的绿松石。绿松石本身常有压碎现象，呈斑状、角砾状。宝石加工中连同围岩一起切磨的情况非常少，但绿松石是个例外。浸染状绿松石常同围岩一起切磨。

如当绿松石与细脉状黑色铁质、炭质共生时，又称为铁线绿松石。

（5）脉状绿松石

指呈脉状赋存于围岩破碎带中的绿松石。

三、绿松石与相似玉石及其仿制品的鉴别

1. 三水铝石

是一种铝的氢氧化物，与绿松石共生，呈白色、浅绿色，集合体呈结核状、皮壳状。与绿松石极易混淆，仔细观察，其外表特征有以下几点可以与绿松石区别。

(1) 颜色

三水铝石是一种比较浅的浅绿色，很难达到天蓝色。

(2) 光泽

三水铝石为玻璃光泽，而绿松石则是典型的蜡状光泽及土状光泽。

(3) 韧度

三水铝石是脆性的，极易崩落，而绿松石则韧性较大。

(4) 硬度

三水铝石硬度极低，摩氏硬度为2.5～3.5。

(5) 密度

密度低于绿松石，为2.30～2.439/cm³。较为难鉴定的是一种染色同时被塑料充填后的三水铝石。这种三水铝石可具有绿松石的天蓝色，韧性加大，外表与绿松石更加接近，须准确测定其密度才可将其与绿松石区分开。另外在红外光谱中三水铝石具有与绿松石不同的吸收谱。

2. 硅孔雀石

一种含水的铜铝硅酸盐，常为隐晶质集合体，呈钟乳状、皮壳状、土状，绿色、浅蓝绿色，蜡状光泽、土状光泽、玻璃光泽。硅孔雀石也是外表与绿松石极相似的矿物之一，但可从以下几点区别。

(1) 颜色

硅孔雀石具有鲜艳的绿色、蓝绿色，加上它亚透明的特点，所以其绿色的感觉比绿松石艳。

(2) 折射率

硅孔雀石折射率很低，1.461～1.570，点测法一般在1.50左右，而绿松石一般在1.61左右。

(3) 密度和硬度

硅孔雀石密度和硬度均相对较低，密度2.0～2.4g/cm³，硬度2～4。

3. 染色菱镁矿

菱镁矿是一种碳酸盐矿物，白色或浅黄白色。正常情况下，菱镁矿是不会与绿松石相混的，但市场上经常出现的一种染色菱镁矿串珠及小挂件，在外表上与绿松石相混，这种菱镁矿染色的产品常用黑色沥青等物质充填空隙以仿绿松石的铁线。染色菱镁矿可通过以下几点进行鉴定。

(1) 密度和折射率

菱镁矿具有较高的密度（约3.00～3.129/cm³），较低的折射率（点测约1.60）。

(2) 放大检查

可见绿色集中于菱镁矿的颗粒间，在裂隙处颜色变深，不具有白色条纹。有时可见到用黑色沥青充填在裂隙或孔洞中模仿绿松石的褐黑色纹。

(3) 其他特征

查尔斯滤色镜下可能呈淡褐色。

4. 蓝绿色玻璃

玻璃也可以用来模仿绿松石，但是两者的折射率值明显不同。玻璃具有玻璃光泽、贝壳

状断口，内部可能见到气泡和旋涡纹。

据资料报道，还有一些矿物及有机宝石，如染色的羟硅硼钙石、蓝铁染骨化石、天蓝石等可与绿松石相混，但只要仔细测定其物理常数或借助于红外光谱可将它们区分开来，见表3-2-3。

表3-2-3　与绿松石相似的部分玉石品种的鉴定特点

品　种	ρ/g · cm^{-3}	n	吸收光谱	其他鉴定特征
绿松石	2.76～2.65 注塑处理可低到 2.50	1.61 ±	蓝区两条吸收带	天蓝色，贝壳状—颗粒状断口，蜡状光泽。铁线，铁线内凹。硬度3～6。
磷铝石	2.4～2.6	1.58 ±	红区有两条吸收带	性脆，结晶较粗，呈柱状的矿物颗粒。
水铝氟石	2.89	1.51 ±		蓝色，玻璃光泽，硬度4～5。
天蓝石	3.1	1.62 ±		性脆，玻璃光泽，比绿松石透明度高。
硅孔雀石	2.0～2.4	1.50 ±		硬度低（为2～4）
玉髓（染色）	2.6	1.53 ±		查尔斯滤色镜下可能显红或浅颜色，玻璃光泽。
染色骨化石	3.0～3.25	1.60 ±		放大检查可显示骨的结构(蜂窝状结构)特点，遇盐酸起泡
羟硅硼钙石（染色）	2.50～2.57	1.59 ±	绿区有宽吸收带	颜色集中于网脉中或表层，滤色镜下呈粉或红色。
玻璃	密度可变 2.3～4.5			玻璃光泽，可有气泡、漩涡纹，贝壳状断口。
陶瓷	2.3～2.4			玻璃光泽
天河石	2.54～2.58	1.522～1.530		绿到蓝绿色相间的斑驳颜色图案。玻璃—珍珠光泽，两组解理。
菱镁矿（染色）	3.00～3.129	1.60 ±		不透明的天蓝色，在裂隙处颜色变深，不具有白色条纹、斑块和褐色条纹。

四、吉尔森“合成”绿松石及其鉴别

由吉尔森生产的“合成”绿松石1972年面市，它被认为是原材料再生产的产品，而不是真正意义的人工合成品。市面上有两个品种，一种为较均匀较纯净的材料，另一种加入了杂质成分，外表类似于含围岩、含基质的绿松石材料。这种“合成”绿松石与天然绿松石的鉴别可从以下几方面考虑。

1. 颜色

吉尔森“合成”绿松石颜色单一、均匀，而天然绿松石颜色丰富、不均匀，即使是同一块，颜色也会出现不均匀现象。

2. 成分

吉尔森“合成”绿松石成分较均一，而天然绿松石杂质较多，如高岭石、埃洛石等粘土矿物，它们常集结成细小的斑块和细脉充填于绿松石间，还可见石英微粒集结的团块、褐铁矿细脉斑块和不均匀的褐铁矿浸染等。

3. 结构构造

吉尔森法“合成”绿松石采用了制陶瓷的工艺过程。吉尔森“合成”绿松石结构单一，放大50倍时，可见到这种“合成”绿松石浅灰色基质中大量均匀分布的蓝色球形微粒，称“麦片粥 cream-of-wheat”效果。天然绿松石具细粒结构，并常具角砾状、碎斑状构造。

4. 折射率

吉尔森绿松石具有较低的折射率为1.610～1.650，点测法通常为1.61。

5. 密度

吉尔森绿松石的密度与天然绿松石相近，为2.76(＋0.14，－0.36)g/cm³。

6. 硬度

摩氏硬度为5～6。早期的合成材料硬度低，并有破裂的趋势，数月之后，在其表面往往会出现绿蓝色的碎屑物质。

7. 吸收光谱

合成材料缺失天然绿松石的吸收光谱。

8. 放大检查

浅色基底中可见细小蓝色微粒、蓝色丝状包体及人工加入的黑色网脉（见图3-2-110）。人造铁线纹理分布在表面，仅表现出几条生硬的细脉，一般不会内凹，绝无天然绿松石中千变万化的构图，天然绿松石铁线往往是内凹的。

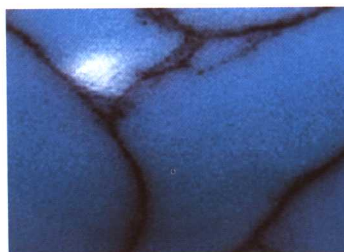


图3-2-110 “合成”绿松石具有典型的蓝色微小颗粒，有时表面有人工“铁线”

9. X射线分析及红外光谱分析

吉尔森“合成”绿松石在作X射线分析时，虽可见晶质绿松石的衍射线，但是与天然绿松石的衍射图相比，吉尔森绿松石中可有一种或多种附加晶质相引起的附加衍射线，个别样品中还发现了磷铅矿的衍射线。

在红外光谱的鉴定中发现，天然绿松石的吸收光谱与“合成”绿松石的吸收光谱大不相同（见图3-2-111）。天然绿松石结晶良好，每个晶胞内的原子排列非常规则。在红外光谱分析中，由于光线进入晶体引起磷酸盐基仅在几个界线明确的频率内振动，因此，天然绿松石的红外光谱图表现为明显的特征吸收，“合成”绿松石的吸收谱线与天然绿松石有相似之处，但是“合成”绿松石的吸收光谱曲线较宽，带的界线不明显，很难彼此区分开来，这是由于“合成”绿松石内大量杂乱原子排列造成的。

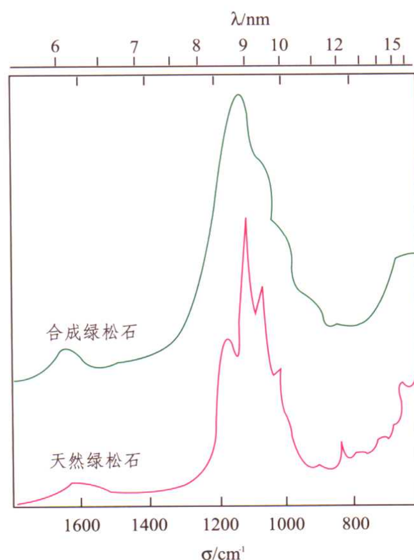


图3-2-111 天然绿松石与“合成”绿松石的红外光谱

在部分吉尔森绿松石的红外光谱中，还存在1725cm^{-1}的吸收带，认为此吸收是由塑料引起的，因此有人推测部分吉尔森绿松石在其合成过程中或合成之后有过塑料的再处理。

五、再造绿松石及其鉴别

再造绿松石（也称粘结绿松石）是由一些天然绿松石微粒、各种铜盐或者其他金属盐类的蓝色粉末材料，在一定的温度和压力下胶结而成的材料。用这种材料加工而成的绿松石制品与天然绿松石非常相似。可通过以下几方面进行鉴定。

1. 结构

再造绿松石外观像瓷器，具有典型的粒状结构。放大检查时，可以看到清晰的颗粒界线及基质中的深蓝色染料颗粒。

2. 酸试验

部分再造绿松石因含有铜的化合物而呈蓝色，铜盐能在盐酸中溶解。因此将一滴盐酸滴于表面（理想的浓度是浓盐酸与水之比是1∶2）很快会使其蓝色变成淡绿蓝色，即使样品本身没有明显变化，而用以擦拭的白色棉球上却显出明显的蓝色。

3. 密度

再造绿松石因含粘合剂的量不同而具有不同的密度。据资料报道，美国宝石研究所测试的三种不同类型的此类产品，相对密度分别为2.75g/cm^3、2.58g/cm^3、2.06g/cm^3。

4. 吸收光谱

再造绿松石的红外吸收光谱中具有典型的1725cm^{-1}的吸收峰。据资料报道，此峰被认为是由塑料粘接剂引起的。

六、绿松石的优化处理及其鉴别

颜色苍白或质地松散的绿松石，一般需要进行人工优化处理，以改变其颜色和外观。人工优化处理方法主要有以下几种。

1. 注油

将绿松石浸泡在汽油等液体中，以改变颜色和光泽，但浸泡后的样品极易褪色。此为一传统的处理方法，目前已很少使用。

2. 浸蜡（过蜡）

浸蜡是将绿松石在虫蜡或川蜡中煮，传统珠宝界称其为过蜡。浸蜡可加深绿松石的颜色，封住细微的孔隙。

鉴别方法是在放大镜下，用烧热的针接近绿松石的表面，蜡受热熔化后会形成小珠渗出表面，即可以看到“出汗”现象。另外，放置时间长后会褪色，尤其是经太阳暴晒或受热后褪色更快（见图3-2-112）。



图3-2-112 注蜡处理的绿松石

3. 染色

将绿松石浸于无机或有机染料中，将浅色或近白色的绿松石染成所需的颜色。经染色处理的绿松石可以从以下几方面进行鉴定。

1）染色绿松石颜色不自然，国内市场上的染色绿松石常呈深蓝绿色或深绿色，且过于均匀，但在裂隙处，因染料聚集使颜色变深。这种颜色与天然的天蓝色绿松石有着明显的差别，给人以不真实感。

2）染色绿松石颜色深度很浅，一般在1mm左右，在样品表面的剥落处和样品背后的坑凹处，有可能露出浅色的核。

3）部分染色绿松石在作氨水试验时可以掉色，沾氨水的棉球上可沾有蓝绿色。

4. 注塑

注塑包括无色或有色塑料的注入，有时也添加着色剂。这种优化处理方法是目前最现代化、最成功的方法。通过注塑可以弥补孔洞以提高绿松石的稳定性；减少表面光的散射，使绿松石显示中等蓝色调，以改善外观（图3-2-113）。



图3-2-113 注塑处理的绿松石

注塑处理的绿松石可以通过以下几点进行鉴定。

1）折射率　注塑的绿松石折射率一般会低于1.61。

2）密度　注塑的绿松石密度较低，一般小于2.76g/cm^3，通常为2.0～2.48g/cm^3。这种低密度与其漂亮的颜色是相互矛盾的，天然产出的高质量绿松石即颜色艳丽的绿松石密度应高于2.6g/cm^3。

3）硬度　注塑的绿松石摩氏硬度较低，一般仅为3～4，而具有相同外观的天然绿松石摩氏硬度应在5～6之间，因此注塑的绿松石更易出现刮痕。

4）放大检查　有时可见气泡。

5）热针试验　注塑会产生塑料熔化的特殊辛辣气味，而且会有烧痕。

6）红外光谱　在红外光谱的检查中，注塑绿松石可以出现一些特殊的由塑料引起的吸收谱线。早期注塑处理的绿松石中可见到1450cm^{-1}和1500cm^{-1}间的强吸收，而在较新的注塑处理品种中，则出现1725cm^{-1}的强吸收带，显示塑料的存在。

5. 注硅酸钠（水玻璃）

注硅酸钠可以改变绿松石的稳定性，提高透明度。注硅酸钠绿松石表面光洁，但密度比天然绿松石低，通常为2.40～2.70g/cm^3。

七、绿松石的品质评价与分级

1. 绿松石的品质评价

绿松石的品质评价应从以下几方面综合考虑。

（1）颜色

颜色是评价绿松石的重要因素。颜色要纯正、均匀、鲜艳，最好的颜色是天蓝色，其次为深蓝色、蓝绿色、绿色、灰色、黄色（见图3-2-114）。

（2）结构

高档绿松石要求结构致密，具有较高的密度和硬度，密度约在2.7g/cm^{3}左右，摩氏硬度在6左右。因为密度值直接反映出绿松石受风化的程度，随着风化程度的加深，绿松石相对密度降低，硬度降低，品质也明显降低。密度低于2.4g/cm^3、摩氏硬度低于4的绿松石，一般要经稳定化处理才可使用。

（3）纯净度

绿松石内常含粘土矿物和方解石等杂质，这些杂质多呈白色，在玉器行里称为“白脑”或筋。“白脑”发育的绿松石加工时易炸裂，品质明显降低。

（4）特殊花纹（铁线）

当铁线在绿松石中构成优美的图案时，可以提高其品质（见图3-2-115）。



图 3-2-114 绿松石饰品



图 3-2-115 绿松石摆件

(5) 块度

绿松石多呈结核状、块状，一般在50g以下，大块者多为100～4000g，5000g以上的少见。块度越大越好，同样大小的绿松石要看是否有杂质。在绿松石原石的销售中，对块度有一定的要求，总的原则是颜色品质高的绿松石，块度要求可以低些。如在美国，浅蓝色、浅绿色绿松石的原石块度不小于10mm，重7～28g；天蓝色绿松石可以薄些，但重量不应小于4g。

2. 绿松石的品质分级

根据颜色、光泽、结构、块度等因素，可以将绿松石原石品质分为三个等级。

1) 一级绿松石　呈标准的天蓝色，且颜色鲜艳、纯正、均匀。光泽强而柔和，半透明至微透明，表面有玻璃感。质地致密、细腻、光洁、坚韧，无铁线、白脑、裂纹及其他缺陷，块度大。但质地特别优良者，即使块度小，亦为一级品。这种级别的绿松石也称"波斯玉"、"波斯级绿松石"。原石利用率高。

2) 二级绿松石　呈深蓝色、深绿蓝色，且颜色较鲜艳、纯正、均匀。光泽强，微透明。质地致密、细腻、坚韧，但有少量铁线、白脑及其他缺陷。块度中等。原石的利用率较高。但如果颜色为深蓝色，即使块度大，也为二级品。

3) 三级绿松石　呈绿蓝色、浅蓝色、蓝绿色，甚至黄绿色、蓝白色。颜色较明快，但颜色分布不均匀。光泽较强，质地较致密。铁线明显，不同程度地存在白脑等缺陷。块度大小不等。原石利用率较低。

八、绿松石的产状、产地简介

绿松石矿床的工业类型不复杂，但对绿松石成因看法却并不统一。主要有以下几种看法：认为绿松石是一种内生的热液交代产物；认为绿松石是在外生条件下，被次生矿物交代而成的；认为是属于风化壳的产物。多数人认为，绿松石是地表地质作用的产物，应属于淋积成因类型。绿松石常与褐铁矿、高岭石、蛋白石、玉髓等共生。

按照围岩类型，绿松石矿床工业类型可分为三类。

1) 酸性火山喷出岩型矿床。

2) 炭质—碳酸盐—硅质岩型矿床。

3) 含钼或多金属矿床氧化和次生硫化物富集带中的矿床。

世界上出产绿松石的主要国家有伊朗、美国、埃及、俄罗斯、中国等。中国的绿松石主要集中于鄂、豫、陕交界处。以鄂西北的郧县、竹山县产的绿松石矿最为著名，其次为陕西的白河、安康，另外在中国的新疆、安徽也有产出。

第七节 青 金 石

青金石因其色相如天，备受历代皇帝器重。据记载“皇帝朝珠杂饰为天坛用青金石，地坛用琥珀，日坛用珊瑚，月坛用绿松石；皇帝朝带其饰天坛用青金石，地坛用黄玉，日坛用珊瑚，月坛用白玉”。清代四品官员的朝服顶戴为青金石。青金石还是天然蓝色颜料的主要原料。青金石与绿松石、锆石同为十二月的生辰石。

一、青金石的基本性质

（一）矿物组成

主要矿物为青金石（Lapis Lazuli）、方钠石、蓝方石，次要矿物有方解石、黄铁矿，有时含透辉石、云母、角闪石等。

（二）化学成分

青金石的化学成分为$(NaCa)_8(AlSiO_4)_6(SO_4,Cl,S)_2$。

（三）晶系及结晶习性

青金石为等轴晶系，晶形为菱形十二面体，通常呈致密块状（见图 3-2-116）。

（四）结构构造

粒状结构，块状构造。

（五）光学性质

1. 颜色

中至深微绿蓝色至紫蓝色，常有铜黄色黄铁矿、白色方解石、墨绿色透辉石、普通辉石的色斑（见图 3-2-117）。



图 3-2-116 青金石原料



图 3-2-117 青金石饰品

2. 光泽及透明度

抛光面呈玻璃光泽至蜡状光泽，半透明至不透明。

3. 光性特征

均质集合体。

4. 折射率

点测 1.50 左右，有时因含方解石，可达 1.67。

5. 多色性

无。

6. 发光性

长波紫外线下共生的方解石可发粉红色荧光；短波紫外线下呈弱至中等的绿色或黄绿色荧光。

（六）力学性质

1. 解理

青金石{110}解理不完全，集合体无解理。

2. 硬度

摩氏硬度为5～6。

3. 密度

2.75(±0.25)g/cm^3，取决于黄铁矿的含量。

（七）内外部显微特征

粒状结构，常含黄色黄铁矿斑点、白色方解石团块。

（八）特殊光学效应

无。

（九）其他

查尔斯滤色镜下呈赭红色；共生方解石与酸强烈反应，起泡，故不可将它放入电镀槽、超声波清洗器和珠宝清洗液中。

二、青金石与相似玉石及其仿制品的鉴别

（一）方钠石

方钠石在颜色上与青金石较相似，但方钠石常为粗晶质结构，青金石多为粒状结构。方钠石的颜色往往呈斑块状，在蓝色的底色上常见白色或深蓝色斑痕，也常见白色或淡粉红色脉纹，极少见到黄铁矿包体，而青金石经常有黄铁矿斑点。

方钠石透明度比青金石高。方钠石的密度（2.15～2.40g/cm^3）、折射率（1.483±）明显低于青金石。

（二）蓝铜矿和天蓝石

如果抛光良好，可以根据折射率将青金岩与蓝铜矿、天蓝石加以区分，蓝铜矿折射率为1.73～1.84，天蓝石折射率为1.612～1.643。另外，根据密度也可以将它们区分开来，蓝铜矿和天蓝石的密度分别是3.80g/cm^{3}和3.09g/cm^3。

（三）蓝色东陵石

含蓝线石的石英岩呈半透明，玻璃光泽，折射率较高，点测为1.53。放大检查蓝色东陵石中含有纤维状蓝线石，与青金石中的黄色黄铁矿不同。

（四）染色碧玉

染色碧玉商业上称为“瑞士青金石”，颜色分布不均匀，在条纹和斑块中富集，无黄铁矿，

贝壳状断口；查尔斯滤色镜下通常不显示赭红色；折射率较高（1.53）；密度较低（$2.6g/cm^3$）。

（五）熔结的合成尖晶石

亮蓝色，颜色分布均匀，粒状结构，可含有细小的黄色斑点以模仿黄铁矿，光泽比青金石强，且通常抛光良好。查尔斯滤色镜下呈明亮的红色，完全不同于青金岩的赭红色。折射率（1.72）高于青金石，密度（$3.52g/cm^3$）也较高，如果使用分光镜可以观察到典型的红、绿、蓝区有钴的吸收谱。

（六）“合成”青金石

由吉尔森制造并出售的一种“合成”青金石材料，实际上该材料是一种仿制品，而不是真正的合成材料，且含有较多的含水磷酸锌。这种材料与青金石的鉴别可从以下几方面进行。

1. 透明度

天然青金石微透明，光线可透过弧面型宝石的边缘，如果把光纤灯靠近玉石表面，可见有一部分光从玉石的边缘通过并产生蓝色光晕，“合成”青金岩不透明，光照下边缘不会出现蓝色光晕。

2. 颜色

大多数天然青金石的颜色不均匀，而“合成”青金石颜色分布较均匀。

3. 包体

“合成”青金石也可含有黄铁矿包体，它是将天然黄铁矿材料粉碎、筛分后加入到粉末原料中的，一般均匀分布在整块材料中，且颗粒边沿平直，而天然材料中的黄铁矿轮廓不规则，黄铁矿呈小斑块或条纹状出现。

4. 密度

合成青金石的密度低于天然材料，一般小于$2.45g/cm^3$，且孔隙度较高，放于水中一段时间后，重量会有所增加，这一点对镶嵌宝石的鉴别特别有效。

（七）染色大理岩

放大检查时，可以发现染色大理岩的颜色集中在裂隙和颗粒边界处，染料可被丙酮擦掉。这种材料硬度较小，可被小刀刻划。

（八）玻璃

用于仿青金石的蓝色玻璃不具有青金石的粒状结构，常有气泡和漩涡纹理。

青金石与部分仿制品的主要鉴别特征见表3-2-4。

表3-2-4 青金石及仿制品的鉴别特征

名　称	n	$\rho/g\cdot cm^{-3}$	查尔斯滤色镜下	透明度	其　他
青金石	1.5	2.75 ±	赭红色	微透明	内部常见黄色黄铁矿
“合成”青金石	1.5	<2.45	无明显颜色	不透明	黄铁矿包体分布均匀、边界平直
方钠石	1.483	2.25 ±	红褐色	微透明	粗晶质，可见初始解理，内部常见白色方解石
合成尖晶石	1.718	3.52 ±	鲜红	微透明	可见钴吸收谱，有时有黄色黄铁矿
蓝色东陵石	1.53	2.6 ±	无明显颜色	半透明	内部含有纤维状蓝线石
染色玉髓	1.53	2.6 ±	无明显颜色	微透明	贝壳断口，颜色分布不均匀

三、青金石的优化处理及其鉴别

1. 浸蜡、浸无色油

某些青金石上蜡或浸无色油可以改善其外观，放大观察可发现局部蜡质脱落的现象。用热针靠近其表面，可发现有蜡或油析出。

2. 染色

蓝色染剂可改善劣质青金石的颜色，仔细观察可发现颜色沿缝隙富集。在不引人注意的部位用蘸有丙酮、酒精或稀盐酸的小棉签小心地擦拭，棉签可被染剂变蓝。如果发现有蜡，应先清除蜡层，然后再进行上述染色测试。

3. 粘合

某些劣质青金石被粉碎后用塑料粘结。当热针触探样品不显眼部位时，会有塑料的气味发出。放大检查时可以发现样品具明显的碎斑块状构造。

四、青金石的质量评价

青金石原料的质量评价可以从颜色、净度（所含方解石、黄铁矿的多少）、重量（块度）等方面进行。最好的青金石应为紫蓝色，且颜色均匀，没有方解石和黄铁矿包体，并有较强的光泽。方解石尤其大块白色方解石的存在会使青金石价值降低。

通常青金石被制成弧形戒面，也可制成雕刻品、钟壳、表盘、烟盒等饰品，有时也用做装潢材料（见图3-2-118）。



图3-2-118 青金石雕件

五、青金石的产地简介

所有青金石矿床均属接触交代的矽卡岩型矿床。

阿富汗东北部地区是世界著名的优质青金石产地，出产的青金石颜色呈略带紫的蓝色，少有黄铁矿和方解石脉，是比较难得的高品质青金石。

原苏联贝加尔地区的青金石以不同色调的蓝色出现，通常含有黄铁矿，质量较好。

智利安第斯山脉的青金石一般含有较多的白色方解石并常带有绿色色调，价格较便宜。

其他产地有缅甸，美国加州等。

第八节　方　钠　石

方钠石是似长石类矿物，是含氯化物的钠铝硅酸盐。方钠石因颜色与青金石相似，商业上也称之为“加拿大青金石”或“蓝纹石”。

一、方钠石的基本性质

（一）矿物名称

主要矿物为方钠石（Sodalite），共生矿物有钙霞石、黑榴石、方解石等。

（二）化学成分

$Na_8(AlSiO_4)_6Cl_2$，其中Na可被K和Ca少量替代，一般不超过1%。

（三）晶系及结晶习性

方钠石属等轴晶系，晶体少见，有时呈菱形十二面体，通常呈块状、结核状集合体（见图 3-2-119）。



图 3-2-119 方钠石原石

（四）结构构造

粗晶质结构，块状、结核状构造。

（五）光学性质

1. 颜色

方钠石多为蓝色（深蓝至紫蓝），少见灰色、绿色、黄色、白色或粉红色。常含白色（也可为黄色或粉红色）条纹或色斑（见图 3-2-120）。



图 3-2-120 方钠石饰品

2. 光泽及透明度

方钠石多呈玻璃光泽、断口呈油脂光泽，解理面上可具珍珠光泽。集合体多为半透明—微透明。

3. 光性

均质集合体。

4. 折射率

折射率为 1.483(± 0.004)。

5. 多色性

无。

6. 发光性

长波紫外光下为无至弱的橙红色斑块状荧光。

加拿大安大略产方钠石，短波紫外线下具明亮的浅粉色荧光，长波紫外线下见明亮的黄至橙色荧光。白色的方钠石长时间暴露于短波紫外光下可变成“莓红色”，但在日光中又能很快褪色。

7. 吸收光谱

无特征吸收光谱。

（六）力学性质

1. 解理

具{110}方向的菱形十二面体中等解理，集合体不易见。

2. 硬度

摩氏硬度为 5～6。

3. 密度

方钠石的密度一般为 2.25(+ 0.15， − 0.10)g/cm^3。

（七）放大检查

方钠石内常含白色脉，也可含少量黄铁矿，外观与青金石极为相似。

（八）特殊光学效应

无。

（九）其他

方钠石在滤色镜下呈红褐色，受热可熔化成玻璃，遇盐酸可分解。

二、方钠石与相似玉石的鉴别

1. 青金石

方钠石常含有白色矿物斑块或纹理，很少含有黄铁矿包体；青金石密度2.75g/cm^{3}左右，高于方钠石；方钠石通常结构较粗，而青金石结构较细。

2. 硅孔雀石

硅孔雀石是隐晶质、非晶质的，不显示解理。硅孔雀石多呈绿色、浅蓝绿色，硬度为2～4，明显低于方钠石。

三、方钠石的产地简介

方钠石一般产于富钠贫硅的碱性岩中，如霞石正长岩、霞石正长伟晶岩。常与霞石、钙霞石、长石等伴生。

美国缅因州和加拿大安大略产出优质蓝色方钠石，此外俄罗斯的乌拉尔山、意大利的威苏威山、挪威、德国和玻利维亚均有方钠石产出，在西南非洲发现了一种鲜蓝色几乎透明的方钠石。

第九节　孔　雀　石

孔雀石由于颜色酷似孔雀羽毛而得名。中国古代称孔雀石为“绿青”、“石绿”或“铜绿”，曾被用做炼铜原料、绘画的颜料及中药药物之中。

质地致密细腻、颜色鲜艳、纹带清晰、块度较大的孔雀石可制作成各种首饰和雕件。由于孔雀石性脆、不够坚韧，因此孔雀石雕件不追求纤细和玲珑，而多是体现其颜色和条带、花纹之美。造型独特、有一定块度的孔雀石可制作成观赏石、盆景石。较厚的块料可制作印章。另外，孔雀石可以作为建筑物内部装饰材料。颜色浓绿、鲜艳的孔雀石粉末可作为高级颜料。

一、孔雀石的基本性质

（一）矿物组成

珠宝界使用的孔雀石玉为一种单矿物岩，主要组成矿物为孔雀石（Malachite）。在矿物学中属于孔雀石族。

（二）化学组成

孔雀石是含铜的碳酸盐矿物，化学式为$Cu_2CO_3(OH)_2$，其中CuO含量71.59%，CO_2含量19.9%，H_2O含量8.15%，可含微量CaO、Fe_2O_3、SiO_2等机械混入物。

（三）晶系及结晶习性

孔雀石为单斜晶系，单晶体多呈细长柱状、针状，十分稀少。常呈纤维状集合体，通常

为具条纹状、放射状、同心环带状的块状、钟乳状、皮壳状、结核状、葡萄状、肾状等（见图3-2-121）。



图3-2-121 孔雀石

（四）光学性质

1. 颜色

颜色为微蓝绿、浅绿、艳绿、孔雀绿、深绿和墨绿，常有杂色条纹。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至丝绢光泽；半透明、微透明至不透明。

3. 折射率和双折射率

折射率为1.655～1.909；双折射率为0.254，集合体不可测。

4. 光性

二轴晶，负光性。非均质集合体。

5. 多色性

无。

6. 发光性

紫外线下荧光惰性。

7. 特征光谱

无特征吸收谱。

（五）力学性质

1. 解理

通常不见解理。集合体具参差状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为3.5～4。

3. 密度

密度为3.95(+0.15，-0.70)g/cm^3。

（六）放大检查

集合体呈典型的纹层状、放射状、同心环状构造。

（七）其他

孔雀石具可溶性，遇盐酸起泡，并且易溶解。

二、孔雀石的品种

孔雀石按其形态、物质构成、特殊光学效应及用途分为五个品种。

1. 晶体孔雀石

具有一定晶形（如柱状）的透明至半透明的孔雀石，非常罕见。单晶个体小，刻面宝石仅重0.5ct，最大也超不过2ct。

2. 块状孔雀石

具块状、葡萄状、同心层状、放射状和带状等多种形态的致密块体。块体大小不等，大

者可达上百吨。多用于制作玉雕和各种首饰的材料（见图 3-2-122）。

3. 青孔雀石

又称“杂蓝银孔雀石”。孔雀石和蓝铜矿紧密结合，构成致密块状，使绿色与深蓝色相映成趣，成为名贵的玉雕材料（见图 3-2-123）。



图 3-2-122 孔雀石首饰盒



图 3-2-123 杂蓝银孔雀石

4. 孔雀石猫眼

具有平行排列的纤维状结构的孔雀石，垂直纤维琢磨成弧面型宝石，可呈现猫眼效应。

5. 孔雀石观赏石

指由大自然“雕塑”而成的、形态奇特的孔雀石，无须人工雕刻，以其天然造型即可作为陈设艺术品。通常可直接用做盆景，或用于观赏，故又名盆景石、观赏石。

三、孔雀石的主要鉴定特征

（一）原石鉴定

孔雀石原石以其特有的孔雀绿色，典型的条带、同心环带构造，遇盐酸起泡等特征即可识别之（见图 3-2-124）。

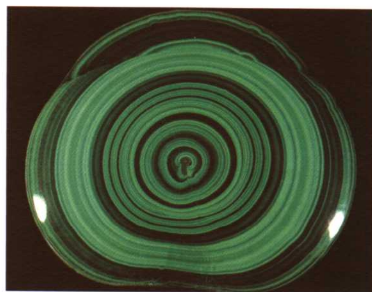


图 3-2-124 孔雀石原石

（二）成品鉴定

1. 肉眼识别

孔雀石具有特征的孔雀绿色、美丽的花纹和条带（即颜色分层或弯曲的同心条带）等特点，一般不与其他珠宝相混，非常好识别。

2. 仪器检测

根据孔雀石具有较高的折射率、密度和较低的硬度等特征不难将其鉴别。

四、孔雀石与相似玉石的区别

孔雀石一般不容易与相似玉石相混淆，但是与绿松石、硅孔雀石相似，较易混淆。

1. 与硅孔雀石的区别

与孔雀石相比，硅孔雀石硬度小，为 2～4；密度小，为 2.0～2.4g/cm^3；折射率低，为 1.461～1.570,点测法 1.50 左右。

2. 与绿松石的区别

与孔雀石相比，绿松石硬度大，为 5～6；密度小，2.4～2.9g/cm^3；折射率小，为 1.61 左右。而且绿松石也没有同心环带状花纹。

五、孔雀石的优化处理

1. 浸蜡

孔雀石的浸蜡是将蜡从表面浸入以掩盖小裂缝。放大检查可见光泽有差别，热针可使蜡熔化。

2. 充填处理

用塑料或树脂充填以利于抛光和掩盖小裂缝，改善其耐久性。热针可熔化塑料或树脂并伴有辛辣气味，放大检查可见充填物。

六、合成孔雀石及其鉴别

合成孔雀石是1982年首先由原苏联试制成功的。合成孔雀石由众多的致密的小球粒团块组成，其产生和生长由结晶条件控制，合成的样品小至0.5kg，大至几千克。

合成孔雀石按纹理可分为带状、丝状和胞状三种类型。

1. 带状合成孔雀石

是由针状或板状孔雀石晶体和球粒状孔雀石集合而成的，颜色由淡蓝至深绿甚至黑色。条带宽从零点几毫米至3～4毫米不等，呈直线、微弯曲或复杂的曲线状，其外观与扎伊尔孔雀石相似。

2. 丝状合成孔雀石

是由厚0.01～0.lmm、长几十毫米的单晶体构成的丝状集合体，平行于晶体延伸方向切割琢磨成弧面宝石，可呈现猫眼现象。然而在垂直晶体延伸方向切割时，截面几乎呈黑色，所以丝状合成孔雀石做玉石不很理想。

3. 胞状合成孔雀石

有放射状和中心带状两种形式。放射状孔雀石是胞体从相对于球粒核心中央作散射状排列，胞状球体的颜色，在中央几乎是黑色，逐渐由核心向边沿散射而变成淡绿色。而中心带状孔雀石，每个带是由粒度约0.01～3mm的球粒组成的，颜色从浅绿到深绿色。胞状孔雀石是最高级的合成孔雀石，几乎与著名的乌拉尔孔雀石相同。

经证明，合成孔雀石的化学成分、颜色、密度、硬度、光学性质及X射线衍射谱线等方面与天然孔雀石相似，仅在热谱图中呈现出较大的差异。所以，差热分析是鉴别天然孔雀石与合成孔雀石唯一有效的方法。然而，这种分析属破坏性鉴定，在鉴定中应慎用。

七、孔雀石的品质评价

孔雀石的品质评价从颜色、花纹、质地三方面进行。

1. 颜色

要求颜色鲜艳，以孔雀绿色为最佳，且花纹要清晰、美观。

2. 质地

要求结构致密，质地细腻，无孔洞，且硬度和密度要较大。

3. 块度

要求越大越好。不过，孔雀石可用做首饰、玉雕和图章料，大小均可，且价格随着重量的增加而增加。

依据颜色、花纹、质地等条件，孔雀石原石可划分出A、B两个等级。

A级　颜色较深，呈翠绿、墨绿及天蓝色，可见条带和同心环带花纹，结构致密，质地

细腻，硬度、密度较大。

B级　颜色偏淡，呈翠绿色，常见由粉白和翠绿相间构成的环带和条带花纹，其中粉白色质地较软，呈凹沟，整体的硬度较软，且有变化。

八、孔雀石的产状、产地简介

孔雀石产于铜矿床的蚀变和氧化带，常与蓝铜矿、辉铜矿、赤铜矿、自然铜等含铜矿物共生。它是由原生含铜硫化物，经氧化作用、淋滤作用和化学沉淀作用而形成的一种次生含铜碳酸盐矿物。而且，孔雀石主要形成和赋存于围岩为碳酸盐岩的、矽卡岩型铜矿床的氧化带中。

世界上出产孔雀石的国家较多。著名产地主要有赞比亚、澳大利亚、津巴布韦、纳米比亚、俄罗斯、扎伊尔、美国和智利等。孔雀石还是智利的国石。

中国的孔雀石主要产于广东阳春、湖北大冶、江西西北部等地，另外，内蒙古、西藏、甘肃、云南等地也有产出。

第十节　萤　石

萤石，又称为“氟石”，是一种钙的氟化物，因在紫外线、阴极射线照射下发出荧光而得名。萤石（Fluorite）的“Fluor”在拉丁语中是“容易溶解”的意思。人类对萤石资源的开发与利用已有悠久的历史，如在古罗马时代，人们就已用萤石来雕刻杯、碗、瓶等装饰品。在中国，7000年前的浙江余姚河姆渡人已开始选用萤石做装饰品了。萤石在工业上用途广泛，主要用做炼钢或炼铝时的助熔剂及交通、医学等领域。

色泽鲜明的萤石可以作为宝玉石材料，因为萤石的解理发育、硬度小，所以很少用于磨制戒面，主要用来制作珠粒、球体和雕件。颜色鲜艳、晶形好的萤石晶体或萤石晶簇可作为矿物晶体观赏石。具有明显磷光效应的萤石，常被人们作为“夜明珠”收藏。

一、萤石的基本性质

（一）矿物名称

萤石（Fluorite），在矿物学中属于萤石族。

（二）化学成分

萤石的化学式为CaF_2，萤石理论上含Ca51.33%，F48.67%。通常含杂质较多，Ca常被Y和Ce等稀土元素替代（替代量较多时称为钇萤石和铈萤石）。此外还含有少量的Fe_2O_3、Al_2O_3、SiO_2、沥青物质（乌灰色萤石加热时有臭味）、微量的Cl（主要是黄色萤石）、O_3、He、U、CO_2等。

（三）晶系及结晶习性

萤石为等轴晶系。单晶呈立方体、八面体、菱形十二面体及聚形（见图3-2-125），立方体晶面上常出现与棱平行的网格状条纹；集合体为粒状、晶簇状、条带状、块状等（见图3-2-126）。



图3-2-125　萤石晶体



图3-2-126　萤石晶簇

（四）光学性质

1. 颜色


图 3-2-127 萤石

纯净的萤石为无色，但因含有较多 Y、Ce 等元素，造成萤石结构空位，产生色心而致色。萤石的颜色非常丰富，除红色和黑色少见外，几乎可以看到其他的任何颜色。常见的颜色有：浅绿色至深绿色、蓝、绿蓝、紫、棕、黄、粉、灰、褐、玫瑰红、深红、无色等（见图 3-2-127），且常有多种颜色共存于一块萤石之上，构成多姿多彩的图案。颜色的多样性既与晶体缺陷、包体、混入物有关，也与成矿温度有关。成矿温度从高至低依次是紫色—淡蓝色—绿色。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至亚玻璃光泽；透明至半透明。

3. 光性特征

均质体。

4. 折射率和双折射率

折射率：1.434(± 0.001)；双折射率：无。

5. 多色性

无多色性。

6. 发光性

在阴极射线下或紫外光照射下，萤石可有紫或紫红色荧光，随不同品种而异，一般具很强的荧光。某些萤石有热发光性，即在受热的情况下（如在酒精灯上加热，或经热水浸泡，或在太阳光下曝晒等其他方式加热）可发出磷光。另外紫色萤石具有摩擦发光的特性。

7. 吸收光谱

萤石的可见光吸收谱不特征，变化较大。一旦有吸收，吸收线表现得很明显。

（五）力学性质

1. 解理

萤石有平行{111}四组完全解理，解理面常出现三角形的解理纹。

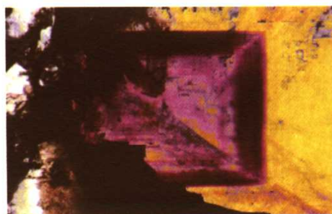
2. 硬度

摩氏硬度为 4。

3. 密度

3.18(+ 0.07， − 0.18)g/cm^3。

（六）放大检查


图 3-2-128 萤石的色带

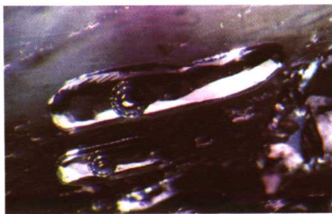

图 3-2-129 萤石中的气液两相包体


图 3-2-130 萤石中的三相包体

放大检查时，可见萤石的色带（见图3-2-128），两相包体（见图3-2-129）、三相包体或多相包体（见图3-2-130）。

（七）特殊光学效应

有些萤石具有变色效应。

二、萤石的品种

珠宝界常按萤石的工艺用途、颜色特征和发光性来划分萤石的品种。

1. 按工艺用途划分

按工艺用途可将萤石分为宝石级和玉石级两种。

（1）宝石级

单晶颗粒大、透明、颜色鲜艳、均匀或呈独特的花纹，其中以祖母绿色、葡萄紫色、紫罗兰色为最佳。因硬度低，很少用于首饰，而多用于观赏和收藏。

（2）玉石级

为粒状或纤维状集合体，半透明，单一颜色或不同颜色相间呈条带状分布，多用于雕刻或制成工艺摆件。用于制作玉器的萤石，主要用其颜色和透明度，尤以颜色最重要。因萤石解理发育，所制玉器以保色为主，不追求纤巧。

2. 按常见颜色划分

按常见颜色可将萤石分为绿、紫、蓝色等品种。

（1）绿色萤石

蓝绿、绿、浅绿色。较常见的为晶簇。古有“软水绿晶”之说，现已不用。

（2）紫色萤石

深紫、紫，常呈条带状分布。古有“软水紫晶”之称，现已不用。

（3）蓝色萤石

灰蓝、绿蓝、浅蓝，往往表面深，中心浅。

（4）黄色萤石

橘黄至黄色，常呈条带状出现。

（5）无色萤石

无色透明至半透明，以单晶或晶簇出现。

3. 特殊的萤石品种——萤石“夜明珠”

“夜明珠”又称为“隋珠”、“明月珠”、“夜光璧”，千百年来一直被国人视为珍宝。但“夜明珠”的材料众说不一，多数专家认为，具有磷光效应（现象）的矿物和岩石才能称为“夜明珠”。目前已发现萤石、金刚石、方解石、白钨矿、磷灰石、锂辉石等20余种矿物在外来能量的激发下能发出可见磷光。特别是近几年在我国市场上出现了大量的萤石“夜明珠”（见图3-2-131）。



图3-2-131 萤石“夜明珠”

萤石“夜明珠”原石的颜色一般为墨绿色、深绿色、浅绿色、紫色等，透明—半透明。发光性和发光的颜色、强度主要与矿物成分中含有稀土元素的种类和数量有关，由于矿物在结晶的过程中稀土元素进入晶格时，形成发光中心或晶体结构存在缺陷所致。发光的颜色和明暗与原石颜色的深浅有关，也与原石或球体的大小成正消长关系。通常绿色萤石的磷光比紫色的强。

三、萤石与相似宝石的鉴别

萤石有可能与石英、玉髓、绿柱石相混，但只要稍加注意，则不难区分。萤石与相似宝石的鉴别特征见表 3-2-5。

表 3-2-5 萤石与相似宝石的鉴别特征

名称	化学式	晶系	解理	H_M	ρ/g · cm^{-3}	n	双折射率	光性
萤石	CaF_2	等轴	四组完全	4	3.18 ±	1.434	无	均质体
石英	SiO_2	三方	无	7	2.66 ±	1.544～1.553	0.009	一轴（+）
玉髓	SiO_2	三方	无	6.5～7	2.60 ±	1.535～1.539	无	集合体
绿柱石	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	六方	一组不完全	7.5～8	2.72 ±	1.577～1.583	0.005～0.009	一轴（-）

四、萤石的优化处理及其鉴别

（一）热处理

热处理在萤石中较为常见，通过加热可使暗蓝至黑色萤石变成蓝色。一般来说，这种热处理的萤石很难鉴定，其颜色在 300℃以下的环境中是稳定的。

（二）充填塑料或树脂

在萤石中充填塑料或树脂，其主要目的是愈合表面裂隙，使其在加工或佩戴时不至碎裂。经充填处理的萤石的鉴定主要有以下几个方面。

(1) 放大检查

放大检查裂隙处可见塑料或树脂。

(2) 热针试验

热针测试可熔树脂和塑料并伴有辛辣气味。

(3) 紫外荧光

紫外荧光观察，充填的塑料和树脂可有特征荧光。

（三）辐照处理

无色的萤石通过辐照可产生紫色。辐照处理的萤石很不稳定，遇光就会很快褪色，因此这种处理方法不具实用价值。

（四）优化处理的萤石“夜明珠”

目前通过优化处理使萤石产生磷光效应的方法主要有：充填磷光粉、涂层、辐照。

1. 充填磷光粉

磷光粉又称夜光粉，是一种人工合成的超细（1500～2000 目）夜光材料，由铝酸锶、二氧化硼和稀土元素等按一定比例配制而成。

将本身不能发光的天然普通萤石放到磷光粉和胶的混合液中浸泡，并加热，使磷光粉沿着解理和裂隙渗入萤石中，然后进行抛光。

经磷光粉充填的萤石，鉴定时可见其解理和裂隙发光性强，其他地方无发光性或发光性较弱。

2. 涂层

在萤石表面涂上绿色或透明的含有磷光粉的胶。其特点是能在白天较暗的条件下发出很

强的绿光或者白光，具体发光颜色是磷光粉控制的。鉴定特征如下。

1）从明亮处转移到暗处，可见发光，或在灯光的照射下就会发光。

2）表面具蜡状光泽，用手摸感觉发涩，用针扎在珠子表面感觉较软。

3. 辐照

将原来没有磷光效应的萤石通过放射线辐射而使其产生磷光效应。通常可用γ射线对萤石进行辐照处理产生磷光效应，因为γ射线的能量小，所以该萤石“夜明珠”没有放射性。经γ射线辐照的萤石发光时通体均匀，磷光可以保持3个月左右。这种辐射处理的萤石用目前的珠宝鉴定仪器尚不能明确地鉴别出来。

五、萤石的品质评价

宝石级萤石要求透明、无杂色、颜色鲜艳。

玉石级萤石集合体则要求颗粒细、致密、块度较大。

萤石观赏石则要求晶形完整、透明、颜色鲜艳，或晶簇造型好（见图3-2-132）。

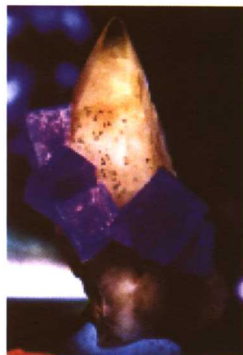


图3-2-132　萤石晶簇(紫色立方体萤石晶体生长在白色的方解石晶体上)

萤石“夜明珠”的品质评价最重要的因素有：磷光辉度（亮度）、颜色及发光持续时间的长短。另外还要求萤石颜色纯净单一、透明或半透明、矿物晶体或块体完整、瑕疵少、有一定的耐久性。

六、萤石的产状、产地简介

萤石是一种多成因的矿物，主要产于热液矿床中。无色透明的萤石晶体产于花岗伟晶岩或萤石脉的晶洞中。

据探测，世界萤石总储量约9.35×10^{8}t。世界宝石级萤石主要分布于美国、哥伦比亚、加拿大、英国、纳米比亚，以及奥地利、瑞士、意大利、德国、捷克、斯洛伐克、俄罗斯、西班牙、澳大利亚、南非、墨西哥等地。

中国是世界上萤石矿产最多的国家之一，占世界萤石储量的35%。各个省区几乎都找到了萤石资源，其中宝石级萤石主要分布于湖南、浙江、内蒙古、河北、福建、江西、广西、贵州、新疆等地。中国的萤石矿床主要产于火山岩和硅酸盐岩中，少部分产于沉积碳酸盐岩中。

第十一节　碳酸盐类玉石

碳酸盐类玉石产量大、产地多，是最常见的玉石品种之一。碳酸盐类玉石耐久性较差，多以集合体出现，常作为玉雕原料或其他宝石的仿制品。常见的品种有：方解石、白云石、菱锌矿、菱锰矿、菱镁矿等。

方解石（大理岩）

方解石单晶在自然界常出现良好的晶形，无色透明的方解石也称为“冰洲石”，是一种重要的光学材料。方解石隐晶质集合体称为“石灰岩”，是烧制石灰和制造水泥的原料，以及冶金工业上的熔剂。方解石显晶质集合体又称为“大理岩”，在建筑和装饰材料中早已广泛使用，俗称“汉白玉”，是最常用的玉雕原料之一。

一、方解石的基本性质

（一）矿物名称

方解石（Calcite），在矿物学上属方解石族。

大理岩（Marble）的主要矿物为方解石，可有白云石、菱镁矿、蛇纹石、绿泥石等矿物。

（二）化学成分

方解石的化学式为$CaCO_3$，常含Mg、Fe和Mn，有时含Sr、Zn、Co、Ba等元素。

大理岩的化学成分随不同的矿物组成而有所变化。

（三）晶系及结晶习性

三方晶系，晶形多变，常见晶形有柱状、板状和各种状态的菱面体等，不同聚形达600种以上。常见单形有六方柱、菱面体、平行双面及复三方偏三角面体。方解石依$\{01\bar{1}2\}$形成聚片双晶，非常普遍；依{0001}形成接触双晶。

方解石的集合体形态也是多种多样的。由片状（板状）或纤维状的方解石呈平行或近似平行组成的连生体，分别称为层解石和纤维方解石。还有致密块状（石灰岩）、粒状（大理岩）、土状（白垩）、多孔状（石灰华）、钟乳状（石钟乳）和鲕状、豆状、结核状、葡萄状、被膜状及晶簇状等。

（四）光学性质

1. 颜色

方解石可具各种颜色，常见有无色、白色、浅黄等。纯净的方解石的颜色应该是无色或白色，无色透明的方解石晶体称为冰洲石（见图3-2-133）。方解石可因各种混入物而呈现不同的颜色，如含微量的Co或Mn可呈灰色、黄色、浅红色；含微量Cu可呈绿色或蓝色。

大理岩有各种颜色，常见有白色、黑色及各种花纹和颜色。因含不同的矿物而呈现不同颜色（见图3-2-134）。



图3-2-133 冰洲石



图3-2-134 大理岩

2. 光泽及透明度

玻璃光泽、透明至不透明。

3. 光性

方解石为一轴晶，负光性；大理岩为非均质集合体。

4. 折射率与双折射率

折射率为1.486～1.658，双折射率为0.172。

5. 多色性

无至弱，集合体无多色性。

6. 发光性

多变。

7. 吸收光谱

随杂质而变。

（五）力学性质

1. 解理

三组菱面体解理完全。

2. 硬度

摩氏硬度为3。

3. 密度

2.70(± 0.05)g/cm^3。

（六）放大检查

方解石具有强的双折射现象，三组完全解理；大理岩为粒状或纤维状结构，三组解理发育。

（七）特殊光学效应

方解石可见猫眼效应。

（八）其他

遇盐酸起泡。

二、方解石的品种

按工艺用途可分为两个品种。

1. 单晶宝石

各种颜色、透明的方解石可切磨成戒面。无色透明的冰洲石可用做光学原料。

2. 玉石

各种颜色的方解石集合体可作为玉雕和装饰材料。

三、“合成”方解石及其鉴别

目前方解石尚无人工合成品，但在实验室中曾见到用方解石的粉末压结成的材料，这种材料看上去非常松散，有孔洞，滴酸起泡，颜色多变。

四、方解石的优化处理及其鉴别

1. 染色

方解石常用的优化处理方法是染色，可用有机或无机染料，尤其是当方解石集合体孔隙较多时极易着色，可染成各种颜色。鉴别方法如下。

(1) 放大检查

观察缝隙是否有染料。

（2）吸收光谱

如为铬盐染的绿色，可有650nm吸收线。

（3）滤色镜下特征

有些绿色染料在查尔斯滤色镜下呈红色。

2. 充填处理

充胶或充填塑料主要是为了增强方解石的透明度并掩盖缝隙。鉴别方法如下。

1）热针试验可有胶或塑料的反应并伴有辛辣气味。

2）红外光谱鉴定中，可有有机物的特征吸收峰出现。

3）乙醚擦拭，有机物可溶解。

3. 辐照

白色的大理石辐照后可产生蓝色、黄色和浅紫色，但很不稳定，遇光会褪色，遇热也会颜色变浅。

4. 覆膜

大理岩表面可以涂有各种颜色的有机薄膜，用来改变颜色和光泽，仿其他种类的宝石（见图3-2-135）。



图3-2-135 染色覆膜大理岩

五、方解石（大理岩）的质量评价

方解石和大理岩原料的质量评价可以从颜色、净度、透明度、重量（块度）等方面进行。宝石级的方解石要求颜色纯净单一，透明度高，无杂质及裂隙，但因为硬度低、解理发育和易腐蚀而不适于做首饰，主要用于光学材料、观赏石及收藏（见图3-2-136）。



图3-2-136 方解石晶簇

玉石级大理岩要求结晶颗粒细小，致密，无杂质，块度大，颜色鲜艳，常用来做玉雕原料或装饰材料。

六、方解石的产地简介

方解石是分布最广的矿物之一，具有各种不同的成因类型。沉积型：可形成石灰岩、鲕状灰岩、白云质灰岩；热液型：可形成具有良好晶形的冰洲石；热变质型可形成粗粒的大理岩；风化型可形成钟乳石、石笋、石柱等；在某些矿泉里可形成由方解石、文石沉积的“石灰华”。



图3-2-137 “汉白玉”

方解石的产地主要有美国、墨西哥，其次有英国、法国、德国、冰岛、意大利、巴基斯坦、罗马尼亚、俄罗斯、中国等地。

大理岩在世界各地几乎都有产出。我国云南大理所产的条带状大理石闻名于世，其间的条带有黑色、绿色和不同的形状，构成了一幅幅形象逼真的山水画，成为上等装饰材料。北京房山产出的“汉白玉”颜色纯白，是故宫、颐和园、北海等皇家园林常用的建筑和装饰材料（见图3-2-137）。



图3-2-138 大理岩（“阿富汗玉”）

有一种大理石质地细腻，透明度较高，市场上俗称“阿富汗玉”。白色的品种经常用来仿白玉（见图3-2-138）。

白　云　石

白云石是沉积岩中广泛分布的矿物之一。白云石很少以单矿物出现，极少成为宝石，而是多以集合体形式出现，称为白云岩。

一、白云石的基本性质

（一）矿物名称

白云石（Dolomite），在矿物学上属方解石族。

（二）化学成分

白云石的化学式为$CaMg(CO_3)_2$，成分中的Mg可被Fe、Mn、Co、Zn替代。其中Fe能与Mg完全替代，形成完全类质同象系列。

（三）晶系及结晶习性

三方晶系，晶体呈菱面体状，晶面常弯曲成马鞍形。常见单形有菱面体、六方柱及平行双面。常依{0001}、$\{10\bar{1}0\}$、$\{11\bar{2}0\}$及$\{02\bar{2}1\}$形成双晶。

集合体常呈粒状、致密块状，有时呈多孔状、肾状。

（四）光学性质

1. 颜色

无色、白带黄色或褐色色调（见图3-2-139）。



图3-2-139 白云石

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至珍珠光泽；多为半透明。

3. 光性

一轴晶，负光性；常为非均质集合体。

4. 折射率

折射率1.505～1.743；双折射率0.179～0.184；集合体不可测。

5. 多色性

无至弱，集合体无多色性。

6. 发光性

紫外线下白云石可有橙、蓝、绿、绿白等多种颜色荧光。

7. 吸收光谱

不特征，随所含杂质而变。

（五）力学性质

1. 解理

三组菱面体解理完全。

2. 硬度

摩氏硬度为3～4。

3. 密度

2.86～3.20g/cm³。

（六）放大检查

可见三组完全解理。

（七）其他

遇盐酸缓慢溶解。

二、白云石的产地简介

以白云石为主要矿物的白云岩可用做雕刻原料，在世界各地广泛产出。中国新疆哈密产出的黄色白云岩颜色浅黄至深黄，质地细腻、蜡状光泽、色泽柔和滋润，微透明至半透明，又称为“蜜蜡黄玉”（见图3-2-140）。中国四川丹巴产出的白云石为含铬云母的白云岩，翠绿色，致密块状，质地细腻，可含少量阳起石、透闪石、绿泥石、黄铁矿，俗称“西川玉”。



图3-2-140 白云石

菱 锌 矿

一、菱锌矿的基本性质

（一）矿物名称

菱锌矿（Smithsonite），在矿物学上属方解石族。

（二）化学成分

菱锌矿的化学式为 $ZnCO_3$，类质同象混入物有Fe、Mn、Mg、Ca、Co、Pb、Cd、In等。

（三）晶系及结晶习性

三方晶系，晶体少见，呈菱面体及复三方偏三角面体和六方柱的聚形。由于菱锌矿是氧化带中的偏胶体矿物，故多为肾状、葡萄状、钟乳状、皮壳状和土状集合体（见图3-2-141）。



图3-2-141 菱锌矿

（四）光学性质

1. 颜色

绿、蓝、黄、黄绿、淡蓝、棕、粉、白至无色。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至亚玻璃光泽；半透明。

3. 光性

一轴晶，负光性；常为非均质集合体。

4. 折射率

折射率1.621～1.849；双折射率0.225～0.228，集合体不可测。

5. 多色性

集合体无多色性。

6. 发光性

紫外灯下无至强荧光，并可有各种荧光颜色。

7. 吸收光谱

无特征吸收谱。

（五）力学性质

1. 解理

三组菱面体解理完全，集合体通常不可见。

2. 硬度

摩氏硬度为4～5。

3. 密度

4.30(＋0.15)g/cm³。

（六）放大检查

单晶具三组完全解理，集合体常呈放射状结构。

（七）其他

遇盐酸起泡。

二、菱锌矿的产地简介

菱锌矿产于铅锌矿床氧化带，常与异极矿、白铅矿、褐铁矿等伴生。主要产于我国广西融县泗汀厂，广泛分布。可用做雕刻原料。

菱　锰　矿

一、菱锰矿的基本性质

（一）矿物名称

菱锰矿（Rhodochrosite），在矿物学中属方解石族。

（二）化学成分

菱锰矿的化学式为$MnCO_3$，常含有Fe、Ca、Zn、Mg和少量Co、Cd等元素。

（三）晶系及结晶习性

三方晶系，晶体呈菱面体状，晶面弯曲，多出现于热液脉空隙中，但不常见。主要单形为菱面体、六方柱和平行双面。热液成因多呈显晶质，粒状或柱状集合体；沉积成因多呈隐晶质，为块状、鲕状、肾状、土状等集合体。常见菱锰矿与白云石连生。

（四）光学性质

1. 颜色

粉红色，通常在粉红底色上有白色、灰色、褐色或黄色条带，也有红色与粉色相间的条带。透明晶体可呈深红色（见图3-2-142）。菱锰矿含有致色离子Mn^{2+}，属典型的自色矿物，常呈红色或粉红色。随含Ca量增加色变浅；当有Fe代替Mn时，



图3-2-142 菱锰矿晶体

变为黄色或褐色；氧化后表面变褐黑色。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至亚玻璃光泽；透明至半透明。

3. 光性

一轴晶，负光性；常见非均质集合体。

4. 折射率

折射率 1.597～1.817(± 0.003)，点测法常测值为 1.60；双折射率 0.220，集合体不可测。

5. 多色性

透明晶体为中等至强，橙黄、红色，集合体无多色性。

6. 发光性

长波紫外线下，无至中等粉色；短波紫外线下，无至弱红色。

7. 吸收光谱

具 410nm、450nm、540nm 弱吸收带（见图 3-2-143）。

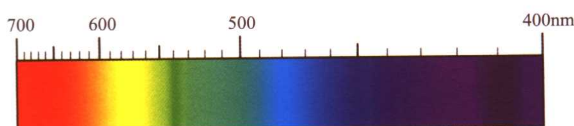


图 3-2-143　菱锰矿吸收不光谱

（五）力学性质

1. 解理

三组菱面体解理完全，集合体通常不可见。

2. 硬度

摩氏硬度为 3～5。

3. 密度

3.60(+ 0.10，－ 0.15)g/cm^3。

（六）放大检查

条带状、层纹状构造（见图 3-2-144）。



图 3-2-144　菱锰矿

（七）特殊光学效应

猫眼效应和星光效应罕见。

（八）其他

遇酸起泡。

二、菱锰矿的品种

菱锰矿颗粒大、透明、颜色鲜艳者可做宝石。

颗粒细小、半透明的集合体通常作为玉雕原料，俗称“红纹石”（见图 3-2-145）。



图 3-2-145　菱锰矿雕件

三、菱锰矿与相似玉石的鉴别

1. 与蔷薇辉石的鉴别

与菱锰矿颜色极为相似的一种玉石是蔷薇辉石，后者为辉石族矿物，二者有明显的区别，详见表3-2-6。

表3-2-6 菱锰矿与蔷薇辉石的鉴别特征

名 称	H_M	n	解 理	遇 酸	结 构	特 征
菱锰矿	3～5	1.597～1.817	三组	反应	隐晶－粒状结构，纹层状或花边状构造。	颜色呈条带状分布，硬度小。
蔷薇辉石	5.5～6.5	1.733～1.747	二组	不反应	细粒状结构，致密块状构造。	不具有条纹。具特征的半透明至不透明的粉红、红色或褐红到紫红色的外观，表面有一些黑色的斑点或纹理。

2. 与玻璃仿制品的鉴别

菱锰矿的仿制品主要是一种粉红色的玻璃，玻璃仿制品可通过解理、密度、双折射、光性等方面加以区别。

四、菱锰矿的质量评价

宝石级菱锰矿数量很少，它要求有较高的透明度及鲜艳的颜色。而玉石菱锰矿则要求有较大的块度、裂纹少、颜色鲜艳。

五、菱锰矿的产地简介

菱锰矿主要产于阿根廷、澳大利亚、德国、罗马尼亚、西班牙、美国、南非等地。中国辽宁瓦房店、赣南、北京密云等地也有出产。

蓝　田　玉

蓝田玉以产于蓝田而得名，是中国古代主要名玉之一。一般人们所认为的“蓝田”是指陕西省西安市东南的古城蓝田，此外也有少许不同的看法，如宋应星的《天工开物》中认为蓝田玉出自于昆仑山脉。早在5000多年以前的新石器时代，人类已经开始开发使用蓝田玉。20世纪70年代在陕西西安茂陵附近出土的西汉武帝的“玉铺首”就为蓝田玉所制。

一、蓝田玉的基本性质

（一）矿物组成

蓝田玉是一种蛇纹石化大理岩，主要矿物成分是方解石和蛇纹石，依据蛇纹石化的程度由低到高，方解石含量逐渐减少，局部可变为蛇纹石玉。另外含少量的白云石、绿泥石、透闪石、云母、滑石等矿物。

（二）化学组成

蓝田玉化学成分依其组成矿物的变化而变化。

（三）结构构造

不等粒状变晶结构至纤维状变晶结构，块状构造（见图 3-2-146）。



图 3-2-146 蓝田玉原料

（四）光学性质

1. 颜色

常见白色、黄色、米黄色、苹果绿色等。

2. 光泽

玻璃光泽、油脂光泽、蜡状光泽。

3. 透明度

微透明至半透明。

4. 折射率

约 1.5～1.6。

（五）力学性质

1. 解理

方解石可见三组完全解理。

2. 硬度

摩氏硬度为 3～4。

3. 密度

约 2.6～2.9g/cm^3。

（六）放大检查

不等粒状变晶结构至纤维状变晶结构，块状构造。

（七）其他

遇盐酸起泡。

二、蓝田玉的品种

根据白色方解石和黄绿色蛇纹石的含量不同，蓝田玉可分为白色蓝田玉、浅米黄色蓝田玉、苹果绿色蓝田玉等（见图 3-2-147）。

三、蓝田玉和相似玉石的鉴定

与蓝田玉相似的玉石是蛇纹石玉，加盐酸不起泡可以区别于蓝田玉。另外蓝田玉与其他碳酸盐质玉石除了用色泽、遇酸是否起泡外，还可以根据各自的形态、硬度、密度等来区分。

四、蓝田玉的质量评价

优质的蓝田玉要求颜色艳丽或素雅，光泽要强，透明度较高，蛇纹石矿物分布均匀，质地致密、细腻、坚韧、光洁，无裂纹及其他缺陷，块度大。

蓝田玉大量被用来生产玉枕，之后开始被加工成雕件如人物、动物、花卉（见图3-2-148）、瓶、炉、熏等，也有一些杯、碗、酒具等实用工艺品。

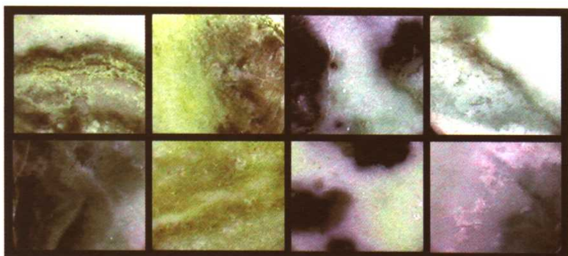

图 3-2-147 不同颜色的蓝田玉


图 3-2-148 雕工细致的蓝田玉摆件

五、蓝田玉的产地简介

蓝田玉主要产于陕西省西安市东南的古城蓝田。在中国分布较广，许多省区都有产出，如山东、吉林、辽宁、内蒙古、河北等地。陕西省蓝田县的矿床主要产于黑云母片岩、角闪片麻岩中。

第十二节　天 然 玻 璃

天然玻璃是指（Natural glass）在自然条件下形成的“玻璃”。天然玻璃成因多种多样，一种是岩浆喷出型的黑曜岩、玄武岩玻璃，另一种是陨石型的玻璃陨石。

一、天然玻璃的基本性质

（一）矿物名称

玻璃陨石（Tektites）、火山玻璃（Volcanic glass）（黑曜岩、玄武玻璃）。

（二）化学成分

主要为 SiO_2，可含多种杂质。

（三）晶系和结晶习性

非晶质体。

（四）光学性质

1. 颜色

玻璃陨石为中至深的黄色、灰绿色；火山玻璃为黑色（常带白色斑纹）、褐色至褐黄色、橙色、红色，绿色、蓝色、紫红色少见；黑曜岩常具白色斑块，有时呈菊花状。

2. 光泽和透明度

玻璃光泽，透明至不透明。

3. 光性特征

均质体，常见异常消光。

4. 折射率

折射率 1.490(+ 0.020，－ 0.010)；双折射率无。

5. 多色性

无。

6. 发光性

通常无紫外荧光。

7. 吸收光谱

不特征。

（五）力学性质

1. 解理

无，具贝壳状断口。

2. 硬度

摩氏硬度为5～6。

3. 密度

玻璃陨石为2.36(±0.04)g/cm³；火山玻璃为2.40(±0.10)g/cm³。

（六）放大检查

圆形和拉长气泡，流动构造，黑曜岩中常见晶体包体、似针状包体。

（七）特殊光学效应

未知。

二、天然玻璃的品种

1. 黑曜岩

黑曜岩是酸性火山熔岩快速冷凝的产物。黑曜岩的主要化学成分为SiO_2，其质量分数在60%～75%之间，此外还含有Al_2O_3、FeO、Fe_3O_4及Na_2O、K_2O等。几乎全部由玻璃质组成，通常会有少量石英、长石等矿物的微晶、斑晶、骸晶。在偏光镜下，黑曜岩表现为光性均质体，但又略显明暗变化，这主要是由于基质中的微晶造成的，微晶可有球状、棒状等形态。

黑曜岩可呈黑色、褐色、灰色、黄色、绿褐色、红色等（见图3-2-149）。颜色可不均匀，常带有白色或其他杂色的斑块和条带，被称为“雪花黑曜岩”。这是一种含斜长石聚斑状黑曜岩，主要矿物为隐晶及玻璃质，斑晶由白色斜长石组成，有少量钾长石。在黑色基底上分布有一朵朵如雪花般的白色斑块，因此而得名（见图3-2-150）。



图3-2-149 黑曜岩



图3-2-150 雪花黑曜岩

2. 玄武玻璃

玄武岩玻璃是玄武岩浆喷发后快速冷凝形成的。与黑曜岩类似，也是一种以天然玻璃为主的火山岩，通常玄武岩玻璃多为碱性玄武岩的喷发物。



图3-2-151 玄武玻璃

玄武岩玻璃多为带绿色色调的黄褐色、蓝绿色（见图3-2-151）。在成分上与黑曜岩有所区别，SiO_2的质量分数在40%～50%之间，而MgO、FeO和Fe_3O_4、Na_2O、K_2O等的质量分数要比黑曜岩高一些。玄武岩玻璃的密度为2.70～3.00g/cm³，折射率在1.58～1.65之间变化。玄武岩玻璃中还常含有长石、辉石等矿物的微晶。

3. 玻璃陨石

玻璃陨石是陨石成因的天然玻璃。玻璃陨石又有很多名称，如“莫尔道玻璃”、“雷公墨”等。玻璃陨石被认为是石英质陨石在坠入大气层燃烧后快速冷却形成的；另有一种观点认为,地外物体撞击地球,使地表岩石熔融冷却后形成的。玻璃陨石的颜色通常是透明的绿色、绿棕色或者棕色。其原石表面常常具有非常特征的高温熔蚀的结构(见图3-2-152)，玻璃陨石的内部还常见圆形或拉长状气泡及塑性流变构造等。玻璃陨石的密度为2.36(± 0.04)g/cm^3，折射率为1.49(+ 0.02，－0.01)。



图3-2-152　玻璃陨石

三、天然玻璃与玻璃的鉴别

在鉴定中，天然玻璃较易与人造玻璃相混，但从以下几点可将天然玻璃与人造玻璃区分开来：人造玻璃的折射率变化范围很大，可从1.4～1.7，而天然玻璃的折射率是相对固定的。人造玻璃的密度随添加剂的变化而变化，天然玻璃的密度相对固定。另外在放大检查中可以发现天然玻璃中有“雏晶”包体存在。

四、天然玻璃的产地简介

黑曜岩在地球上分布广泛。宝石级黑曜岩的主要产地为北美，如著名的美国黄石国家公园及科罗拉多州、内华达州、加里福尼亚州等地。此外意大利、墨西哥、新西兰、冰岛、希腊等国也有宝石级黑曜岩产出。

玄武岩玻璃的著名产地是澳大利亚的昆士兰州。

玻璃陨石著名产地有捷克的波西米亚、利比亚、美国得克萨斯、澳大利亚西部及东南地区，以及我国的海南岛等地。

第十三节　独　山　玉

独山玉因产于我国河南省南阳市的独山而得名，是我国特有的玉石品种，又名“南阳玉”。

一、独山玉的基本性质

（一）矿物组成

独山玉是一种黝帘石化斜长岩，其组成矿物较多，主要矿物是斜长石（钙长石）(20%～90%）和黝帘石（5%～70%），次要矿物为翠绿色铬云母（5%～15%）、浅绿色透辉石（1%～5%）、黄绿色角闪石、黑云母，还有少量榍石、金红石、绿帘石、阳起石、白色沸石、葡萄石、绿色电气石、褐铁矿、绢云母等。

（二）化学组成

钙长石化学式为$CaAl_2Si_2O_8$，黝帘石化学式为$Ca_2Al_3(SiO_4)_3(OH)$。独山玉的化学组成变化较大，随其组成矿物含量的变化而变化。

（三）结构构造

独山玉具细粒（d<0.05mm）状结构，其中斜长石、黝帘石、绿帘石、黑云母、铬云母和透辉石等矿物呈他形—半自形晶紧密镶嵌，集合体为致密块状（见图3-2-153）。



图3-2-153 独山玉原石

（四）光学性质

1. 颜色

由于组成矿物种类繁多，因此独山玉颜色丰富，主色有白、绿、紫、蓝绿、黄、褐、黑等，单一色调的原料及成品较少。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽；半透明至不透明。

3. 光性

非均质集合体，正交偏光镜下没有消光位。

4. 折射率

独山玉折射率的大小受组成矿物的影响，点测法测到的折射率值变化于1.560～1.700之间。

5. 吸收光谱

未见特征吸收谱。

6. 发光性

在紫外灯下，独山玉表现为荧光惰性。有的品种可有微弱的蓝白、褐黄、褐红色荧光。

（五）力学性质

1. 解理

无解理。

2. 密度

2.70～3.09g/cm^3，一般为2.90g/cm^3。

3. 硬度

摩氏硬度为6～7。

（六）放大检查

细粒状结构，可见蓝色、蓝绿色或紫色色斑。

（七）特殊光学效应

未见。

二、独山玉的品种

工艺上独山玉主要依据颜色划分品种。

1. 白独玉

总体为白色、乳白色，常为半透明至微透明或不透明，依据透明度和质地的不同又有透水白、油白、干白三种称谓，其中以透水白为最佳。

2. 红独玉


图 3-2-154　粉红色独山玉

常表现为粉红色或芙蓉色，深浅不一，一般为微透明至不透明，与白独玉呈过渡关系（见图 3-2-154）。

3. 绿独玉

包括绿色、灰绿色、黄绿色，常与白色独玉相伴，颜色分布不均，多呈不规则带状、丝状或团块状分布。透明度从半透明至不透明表现不一，其中半透明的蓝绿色独玉为独山玉的最佳品种，在商业上亦有人称之为“天蓝玉”或“南阳翠玉”。近年矿山开采中，这种优质品种产量渐少，而大多为灰绿色不透明的绿独玉。

4. 黄独玉

为不同深度的黄色或褐黄色，常呈半透明分布，其中常有白色或褐色团块，并与之呈过渡色。

5. 褐独玉

呈暗褐色、灰褐色、黄褐色，深浅表现不均，此类玉石常呈半透明状，与灰青及绿独玉呈过渡状态。

6. 青独玉

青色、灰青色、蓝青色，常表现为块状、带状，不透明，为独山玉中常见的品种（见图 3-2-155）。

7. 黑独玉

又称“墨玉”，黑色、墨绿色，透明，颗粒较粗大，常为块状、团块状或点状，与白独玉相伴（见图 3-2-156）。

8. 杂色独玉

是独山玉中最常见的品种，在同一块标本或成品上常表现为上述两种或两种以上的颜色，特别是在一些较大的独山玉原料或雕件上常表现出四至五种或更多颜色的品种，如绿、白、褐、青、墨等多种颜色相互呈浸染状或渐变过渡存于同一块体上，甚至在不足 1cm 的戒面上亦会出现褐、绿、白三色并存，这种复杂的颜色组合及分布特征对独山玉的鉴别具有重要的指导意义（见图 3-2-157）。


图 3-2-155　青独玉


图 3-2-156　黑独玉


图 3-2-157　杂色独玉

三、独山玉与相似玉石的鉴别

与独山玉相似的玉石有：翡翠、软玉、石英岩玉、碳酸岩及蛇纹石玉。

1. 翡翠

优质独山玉质地细腻，很像翡翠，但二者结构明显不同，翡翠为纤维变晶结构，独山玉为粒状变晶结构。另外，二者颜色特征和颜色分布特点也有明显的差异，翡翠的颜色比独山玉颜色艳丽，独山玉的绿色中带有明显的灰色、黄色色调，整体颜色不明快。翡翠绿

色为带状、线状分布，由绿色的纤维状硬玉矿物集合体造成；而独山玉绿色多呈团块状分布，由粒状的绿色绿帘石矿物集合体形成；翡翠的密度3.34(+0.06，-0.09) g/cm³比独山玉的密度高。

2. 软玉

有时软玉也有可能与独山玉相混，但仔细观察可以发现二者的光泽有差异。软玉一般为油脂光泽，而独山玉为玻璃光泽。独山玉质地细腻程度比软玉差，颜色分布比软玉杂乱。

3. 石英岩玉

独山玉与石英岩玉比较，折射率和密度均高于石英岩玉。绿色的石英岩玉颜色均匀，透明度高，而独山玉颜色杂，透明度较低。

4. 蛇纹石玉及碳酸岩

与蛇纹石玉及碳酸岩类玉石相比，独山玉的硬度、密度、折射率都高。另外碳酸岩类玉多为白色和绿色，遇酸起泡，蛇纹石玉以黄绿色为主。

四、独山玉的质量评价

独山玉的质量评价主要依据颜色、裂纹、杂质及块度大小。

优质独山玉的颜色为绿色和白色，微透明、质地细腻、无裂纹、无杂质。颜色杂、色调暗、不透明、有裂纹和杂质的独山玉品质较差。原石交易中，依据质量独山玉可分特级、一级、二级、三级、等外级五个等级。

1. 特级料

颜色纯正，翠绿、蓝绿、淡蓝绿、白中带绿，结构致密，质地细腻，无白筋，无杂质，无裂纹，块度在20kg以上者。

2. 一级料

颜色均匀，白色、乳白色、绿白浸染，质地细腻，无杂质，无裂纹，块度在20kg以上者。

3. 二级料

颜色均匀，白色、绿中带杂色，质地细腻，无杂质，无裂纹，块度在3kg以上者。

4. 三级料

杂色，但色泽较鲜明，质地细腻，有杂质和裂纹，单色块度可达1kg以上，杂色部分块度在2kg以上者。

5. 等外料

杂色，色泽暗淡，裂绺、杂质较多，块重1kg以下。

五、独山玉的产出特征

独山玉矿体呈脉状、透镜状及不规则状，产出于蚀变辉长岩体中。围岩蚀变作用有透闪石—阳起石化、钠黝帘石化、蛇纹石化和绿泥石化，一般矿脉长1~10m，宽0.1~1m，个别宽5m。迄今为止，能达到工艺要求的独山玉仅产于中国河南。独山玉由于颜色丰富，成为利用较广的玉雕材料，近几年独山玉的俏色作品频见于市场。

第十四节 蔷 薇 辉 石

蔷薇辉石，粉红色如桃花，在国内也被称为桃花石、桃花玉或粉翠。英文名称Rhodonite一词来自希腊语，指玫瑰（Rose），以象征它的颜色。在台湾，蔷薇辉石又被称为玫瑰石。

一、蔷薇辉石的基本性质

（一）矿物组成

蔷薇辉石主要矿物为蔷薇辉石（Rhodonite）、石英及脉状、点状黑色氧化锰色斑。

（二）化学组成

蔷薇辉石：$(Mn,Fe,Mg,Ca)SiO_3$；石英：SiO_2。

（三）晶系及结晶习性

三斜晶系，单晶体少见，多呈厚板状，常为致密块状集合体（见图3-2-158）。



图3-2-158 蔷薇辉石

（四）结构构造

粒状结构，块状构造。

（五）光学性质

1. 颜色

常见浅红色、粉红色、紫红色、褐红色，常有黑色斑点和细脉间杂于上述颜色间，有时杂有绿色或黄色色斑。

2. 光泽及透明度

玻璃光泽，透明者罕见，集合体多不透明或微透明。

3. 光性

二轴晶，光性可正可负。晶质集合体。

4. 折射率

折射率1.733～1.747(＋0.010，－0.013)

集合体点测法折射率常为1.73，因常含石英可低至1.54；双折射率不可测。

5. 多色性

多色性弱至中等，单晶可显示橙红或棕红的多色性，而集合体无多色性。

6. 发光性

紫外线下表现为荧光惰性。

7. 吸收光谱

545nm吸收宽带，503nm吸收线（见图3-2-159）。

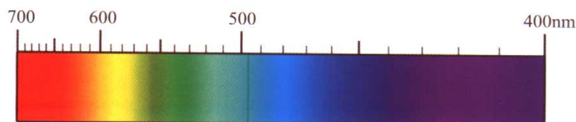


图3-2-159 蔷薇辉石吸收光谱

（六）力学性质

1. 解理

蔷薇辉石具两组完全解理，集合体通常不可见。

2. 硬度

摩氏硬度为5.5～6.5。

3. 密度

3.50(＋0.26，－0.20)g/cm^3，随石英含量增加而降低。

（七）放大检查

粒状结构，可见黑色脉状或点状氧化锰。

（八）特殊光学效应

未见。

二、蔷薇辉石的品种

蔷薇辉石晶体少见，集合体可做挂件、串珠、雕件及观赏石。蔷薇辉石因颜色浓艳粉嫩，质地坚固致密，用于装饰品及雕刻都非常具有观赏价值（见图3-2-160）。带有黑色脉纹的蔷薇辉石可以形成如山水画一般的雅石，深受玩石收藏者的青睐。



图3-2-160 蔷薇辉石雕件

三、与蔷薇辉石相似玉石的鉴别

与蔷薇辉石颜色相似的玉石是菱锰矿，但蔷薇辉石上多会出现黑色的氧化锰脉或斑点，且不具有花边构造。再者蔷薇辉石硬度大、加盐酸不起泡也可区别于菱锰矿。

四、蔷薇辉石的优化处理及其鉴别

蔷薇辉石常用的优化处理方法是染色，放大检查可见染料沿粒隙分布。

五、蔷薇辉石的产地与产状简介

沉积锰矿层受区域变质作用或菱锰矿受接触交代作用均可形成蔷薇辉石。在热液交代成因的锰矿床中也能生成。偶尔在伟晶岩中亦有产出。

世界著名的产地有美国马萨诸塞州（Plainifield）、瑞典的Langban、俄罗斯乌拉尔山脉的Sverdlovsk、澳大利亚新南威尔士的Broken Hill 。我国北京附近昌平地区出产较优质的蔷薇辉石，常用来制作工艺品。此外陕西商县、江苏苏州、青海、四川也有产出。

第十五节 查 罗 石

一、查罗石的基本性质

（一）矿物组成

查罗石主要矿物组成是查罗石（Charoite），又名紫硅碱钙石，另外可含有霓石、霓辉石、长石、硅钛钙钾石、碳酸盐矿物、碱性角闪石和铁、铜的硫化物等矿物。

（二）化学成分

查罗石的化学成分为：$(K,Na)_5(Ca,Ba,Sr)_8(Si_6O_{15})_2Si_4O_9(OH,F)\cdot 11H_2O$，一般含量为50%～90%。

（三）晶系及结晶习性

查罗石属单斜晶系，单晶呈纤维状、束状，多为晶质集合体，呈块状。

（四）结构构造

查罗石的结构为纤维状结构，可见紫色的纤维状查罗石常围绕灰白色斑点、斑块（主要为钾长石、碳酸盐矿物及方解石晶体颗粒）分布，偶见金黄色斑点（为黄铜矿、黄铁矿）及绿黑色、褐色斑点（为霓石、普通辉石、碱性角闪石等）。

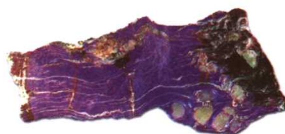


图 3-2-161 查罗石原石

查罗石的构造为致密块状（见图 3-2-161）。

（五）光学性质

1. 颜色

浅紫至紫，紫蓝色，可含有白色、金黄色、黑色、褐色、棕色斑点（见图 3-2-162）。



图 3-2-162 查罗石戒面

2. 光泽及透明度

玻璃光泽至蜡状光泽，局部显丝绢光泽，半透明至微透明。

3. 光性

二轴晶，正光性。多为非均质集合体。

4. 折射率

折射率 1.550～1.559(± 0.002)，双折射率 0.009，折射率随成分的变化而变化。

5. 多色性

集合体通常不显示多色性。

6. 发光性

长波紫外线下荧光无至弱，可见斑块状红色荧光；短波紫外线下表现为荧光惰性。

7. 吸收光谱

未见特征吸收谱。

（六）力学性质

1. 解理

晶体中可具三组解理，集合体通常不显示解理。

2. 硬度

摩氏硬度为 5～6。

3. 密度

2.68(+ 0.10，− 0.14)g/cm^3，密度随成分而变化。

（七）放大检查

可见纤维状结构，常含色斑。

（八）特殊光学效应

未见。

二、查罗石的鉴定特征

查罗石以其特有的颜色、结构和光泽不难将其鉴别，一般不容易与其他宝石相混淆。

三、查罗石的优化处理及其鉴别

查罗石常用的优化处理方法是染色。用紫色溶液染色后，通过放大检查可见染料沿粒隙分布，用丙酮擦拭可掉色。

四、查罗石的质量评价

查罗石原料的质量评价主要受颜色、净度、重量、质地结构的影响。最好的查罗石颜色纯正，紫红色鲜艳、均匀、质地细腻，无肉眼可见的白色及褐色杂质，半透明，局部显示强的丝绢光泽，块度大。

查罗石中大块白色斑点或白色团块的存在使其价值降低。

五、查罗石的产地与加工

查罗石主要产于俄罗斯。可以加工成弧面型戒面、吊牌等，也可制成雕件等各种工艺品，有时也可做建筑装饰材料。

第十六节　钠 长 石 玉

一、钠长石玉的基本性质

（一）矿物组成

钠长石玉（Albite jade）主要矿物组成是钠长石，次要矿物有硬玉、绿辉石、绿帘石、阳起石和绿泥石等。

（二）化学成分

钠长石玉的化学成分为：$NaAlSi_3O_8$。

（三）晶系及结晶习性

钠长石玉属三斜晶系，单晶呈板状或板柱状。

（四）结构构造

钠长石玉为纤维状或粒状变晶结构钠，块状构造。



图 3-2-163　钠长石玉原料

（五）光学性质

1. 颜色

钠长石玉的常见颜色为白色、无色、灰白色以及灰绿白、灰绿等（见图 3-2-163）。

2. 光泽及透明度

钠长石玉的光泽为油脂光泽至玻璃光泽，半透明至透明。

3. 光性

二轴晶，非均质集合体。

4. 折射率

折射率为1.52～1.54，点测法常为1.52～1.53。

5. 多色性

无。

6. 发光性

紫外荧光：无。

7. 吸收光谱

未见特征吸收谱。

（六）力学性质

1. 解理

钠长石具两组完全解理。

2. 硬度

摩氏硬度为6。

3. 密度

2.60～2.63 g/cm³。

（七）放大检查

可见纤维或粒状结构，在透明或半透明的底色中常含白色斑点和蓝绿色斑块。白色斑点为辉石类矿物，透明度较差（见图3-2-164）；蓝绿色斑块为闪石类矿物以及绿泥石等（见图3-2-165）。



图3-2-164　钠长石玉的白斑



图3-2-165　飘蓝花的钠长石玉手镯

（八）特殊光学效应

未见。

二、钠长石玉的鉴定特征以及与相似玉石的鉴别

钠长石玉俗称“水沫子”，因在白色或者灰白色透明的底子上常分布有白色的“棉”、“白脑”，形似水中翻起的泡沫而得名。

钠长石玉与同种颜色、透明度的翡翠相似，但钠长石玉的折射率、密度、硬度均明显低于翡翠，光泽较翡翠弱。另外“水沫子”手镯敲击后声音沉闷，而翡翠通常声音清脆。

石英质玉石的折射率、密度与钠长石玉相近（稍高），但石英质玉无解理，硬度明显高于钠长石玉。

三、钠长石玉的质量评价

钠长石玉原料的质量评价主要从颜色、净度、重量、质地结构等几个方面进行。好的钠长石玉要求颜色纯正、艳丽，质地细腻，透明度高，块度大。

钠长石玉中白色斑点或暗色、杂色团块的存在使其价值降低。

四、钠长石玉的产状与产地

宝石级钠长石玉多与翡翠矿床共生，作为翡翠矿床的围岩产出。

钠长石玉目前的主要产地在缅甸。

第十七节 砚 石

砚是中国传统的文房四宝之一。石砚是由砚石雕制而成的研墨工具，而砚石则是指能用于制砚的矿物集合体——岩石。然而，并非任何岩石都能作砚石，只有具备质地致密滋润、细中有锋、硬度适中、单层厚度较大的沉积岩和变质岩才能用作砚石。

一、砚石的基本性质

（一）砚石的物质组成

1. 矿物组成

砚石主要由硬度较低的粘土矿物或方解石组成，还必须含一定比例（5%左右）的硬度较高的次要矿物（石英、黄铁矿、红柱石和赤铁矿等），以利于提高石砚的研磨性能。不同的砚石其矿物组成截然不同。泥岩、板岩和千枚岩类砚石的矿物成分主要为黏土矿物，其次为石英、黄铁矿和红柱石等；灰岩、大理岩类砚石的矿物成分主要为方解石，其次为石英、赤铁矿等。现仅以中国的端、歙、洮、红丝四大名砚石为例，讨论砚石的矿物组成。

端石为含赤铁矿的水云母泥岩或板岩，其中斧柯山端石（即狭义的端石）为水云母泥岩或板岩，质地较柔润；而北岭山端石为含赤铁矿泥岩，质地偏红略燥。端石由以水云母为主的黏土矿物（质量分数为87%～96%）、赤铁矿（质量分数3%～5%）、石英（质量分数1%～2%）、方解石（质量分数1%）及微量电气石、金红石和锆石等矿物组成。

歙石为含绿泥石的云母质板岩至千枚岩，其成分质量分数为：蠕绿泥石35%～40%、多硅白云母25%～30%、石英25%～35%、长石2%～3%及少量电气石、锆石和碳质等。

洮石为富含叶绿泥石的水云母质板岩，主要由水云母、叶绿泥石等黏土矿物（质量分数99%）及少量石英粉砂（质量分数1%）组成。

红丝石为微晶灰岩，主要由方解石组成，另含少量铁质及微量石英、云母等矿物。

组成砚石的黏土矿物颗粒大小要适中，且具有特殊的内部结构，以形成具有锉锷的特殊界面。从上述砚石的矿物组成可知，大部分砚石中都含有云母类矿物（绢云母、水云母、白

云母或多硅白云母等)，而云母类矿物内部就具有这样的特殊层状结构，结构单元层之间借助大半径的阳离子紧密联系起来，可以有效地阻止水分子进入其晶格中；结构单元层内部的原子之间联系更为紧密，致使石砚又具有很好的储水功能。

2. 化学组成

砚石的岩石类型不同，其化学组成也随之不同。泥岩、板岩和千枚岩类砚石，其矿物成分主要为硅酸盐，因而其化学性质稳定；灰岩、大理岩类砚石，其矿物成分主要为碳酸盐。即使是同一岩石类型的砚石，产地不同，其化学组成也不完全相同。而且同一产地的砚石，不同石品，或同一块砚石的不同部位，其化学组成也略有差异。因而，对砚石的化学组成也只能举例说明。

端石的化学成分（质量分数）主要为：SiO_2 62.18%、TiO_2 0.84%、Al_2O_3 16.35%、Cr_2O_3 0.08%、($FeO+Fe_2O_3$) 5.16%、MnO 0.11%、MgO 1.78%、CaO 0.15%、CoO 0.07%、NiO 0.32%、K_2O 5.42%、P_2O_5 0.41%。端石的电子探针分析表明，其Al_2O_3的质量分数比一般的板岩、千枚岩要高，含铁量也较高，为5.16%，K_2O为5.42%，说明端石为含铁质的富钾型岩石。

歙石的化学成分质量分数为：SiO_2 61.15%、TiO_2 0.95%、Al_2O_3 12.69%、($FeO+Fe_2O_3$) 5.00%、MnO 0.05%、MgO 1.94%、CaO 3.64%、K_2O 3.23%、Na_2O 1.61%、P_2O_5 0.88%。不同歙石品种，化学成分也有细微的差异。歙石的电子探针分析表明，其Al_2O_3的质量分数比一般的板岩、千枚岩要高，含铁量也较高，为5%左右，K_2O/Na_2O比值为20，说明歙石为含铁质的富钾型岩石。

洮石的化学成分质量分数为SiO_2 60.40%、Al_2O_3 15.54%、TiO_2 0.72%、Fe_2O_3 7.74%、MgO 4.56%、CaO 1.19%、K_2O 4.30%、Na_2O 0.98%。洮石的化学分析表明，其Al_2O_3和Fe_2O_3的质量分数较高，K_2O/Na_2O比值为4.4，为富钾型岩石。

红丝石，如前所述，其矿物组成主要为微晶灰岩，其化学成分中含有丰富的氧化钙。现以与其矿物成分相似的松花石为例来说明以灰岩为主的这一类砚石的化学成分。松花石化学成分质量分数：SiO_2 37.25%、Al_2O_3 1.30%、TiO_2 0.05%、($FeO+Fe_2O_3$)1.03%、MgO 0.58%、CaO 30.27%、CoO 0.10%、NiO 0.00%、K_2O 0.47%、Na_2O 0.30%、P_2O_5 0.38%、MnO 0.20%。

从上述砚石的化学成分看，其中除主要含有SiO_2、Al_2O_3或CaO、CO_2（电子探针不能测出挥发分）外，还含有一定量的不同价态的铁质，致使砚石呈现美丽的紫红色、猪肝色、灰黄色和绿色等；含一定量的P_2O_5和SO_2，使石砚所磨出的墨汁油润有光，所写的字、所画的画不易被虫蛀；且不含放射性元素。因而，这些岩石可作为理想的砚石工艺材料。

（二）砚石的结构与构造

1. 结构

砚石多具有隐晶质结构、泥质结构和显微粒状结构等。不同的砚石品种，其结构有所不同。下面仅以四大名砚石进行结构分析。

端石多具有变余碎屑凝灰（粉砂）或泥质结构，主要矿物颗粒的粒径小于0.01mm，少量矿物粒径在0.01～0.04mm之间。不同亚种，其结构稍有差异。

歙石主要具有变余泥质结构和变余粉砂状结构，优质的歙石以变余泥质结构为主，其次为显微变晶结构、等粒变晶结构、他形变晶结构和鳞片变晶结构等。组成歙石的矿物颗粒约80%以上的粒径均在0.01mm左右。

洮石主要具有变余结构，其次为显微变晶结构、等粒变晶结构、他形变晶结构和鳞片变

晶结构等。组成洮石的水云母和石英的粒度均为0.01～0.02mm。

红丝石主要为微晶或细晶结构，其中的方解石为他形粒状，粒径多为0.01～0.08mm。

2. 构造

砚石的构造按成因可分为沉积构造、变余构造和变质构造三类。沉积构造又可分为层理构造、球粒构造等；变余构造又可分为变余层理构造、变余球粒构造等；变质构造可分为板状构造、千枚状构造和条带状构造等。不同的砚石品种，其构造也有所不同。下面仅以几大名砚石为例进行说明。



图3-2-166 端砚

端石主要具有块状构造、层理构造、同心圆状构造、条纹状构造、条带状构造等，所形成的纹饰主要有石眼、火捺、鱼肚冻、猪肝冻、蕉叶白、金银线、冰纹和青花等（见图3-2-166）。



图3-2-167 歙砚

歙石通常具有变余构造，如变余层理构造、变余球粒构造等。歙石还具有斑点构造（这是歙石特有的构造之一）、板状构造、板状—千枚状构造、千枚—片状构造、条带状构造（按条带的宽窄、长短及形态又可分为长条带、短条带、纹状带和板状带等，从而形成多种多样的眉纹类砚石）等。据不完全统计，歙石的花纹有50余种，按其成因可分为两类：原生花纹—变质构造纹饰和次生花纹—风化作用纹饰。原生花纹包括变余纹饰（刷丝纹、罗纹、枣心纹和紫云玉斑等）、斑点状纹饰（青绿晕、鱼子纹或鳝肚纹）、板状纹饰（罗纹、眉纹、水浪纹）、千枚状纹饰（罗纹、刷丝纹）和条带状纹饰（玉带纹、眉纹）；次生花纹包括金属硫化物纹饰（金星、银星、金晕、银晕、金线、银线、金斑和葵花等）、炭质纹饰（鳝肚纹或鳅背纹）（见图3-2-167）。

红丝石主要具有丝状弯曲纹理构造，即假层理构造。红丝石中的铁质多呈不规则的波状或波纹状纹理出现，纹理的宽度多为0.02～0.40mm，形成灰黄色的刷丝纹。

砚石的结构和构造与其原岩状况和变质程度等密切相关。原岩若为微晶灰岩或泥灰岩，经浅变质后，形成具等粒变晶结构的微粒状或细粒状大理岩；原岩若为泥岩，经浅变质后，形成具有变余结构、板理构造的板岩，并随着变质程度的加深，形成具有显微变晶结构、等粒变晶结构、他形变晶结构和鳞片变晶结构的千枚状板岩或千枚岩。原岩在变质过程中，由于矿物重结晶和物质的加入、析出，形成多种形式的结构构造，使砚石具有千姿百态的纹饰。

（三）砚石的光学性质

1. 颜色

砚石主要呈黝黑、暗绿、灰绿、紫红、褐黄及灰白等色。如漱石多呈黝黑色，以水浸之，显青黑色；潭拓紫石主要呈酱紫色或猪肝色；洮石多呈暗绿色；松花石多呈灰绿色；红丝石主要呈紫红色；尼山石呈褐黄或橙黄色；菊花石呈灰白色。

砚石的颜色取决于矿物成分及其配比。当砚石中含较多的赤铁矿或褐铁矿时，呈紫红、酱紫、灰黄色；当绢云母的含量较高时，呈灰绿、暗绿、绀绿色；当炭质含量较多时，呈黑、灰黑、黝黑色；当泥质含量较高时，呈灰白色。

2. 光泽

砚石的光泽一般较暗淡，主要呈土状光泽、油脂光泽、蜡状光泽，其次为珍珠光泽、丝绢光泽；石砚一般较莹润，主要呈油脂光泽、蜡状光泽、弱玻璃光泽、玻璃光泽和丝绢光泽等。

（四）砚石的力学性质

1. 密度

砚石主要由黏土矿物或方解石矿物组成，密度介于2.5～3.0g/cm³之间，其中端石的密度为2.78g/cm³，歙石的密度为2.75g/cm³，松花石的密度为2.11g/cm³。

2. 硬度

砚石的硬度既取决于主要矿物的硬度，又取决于主要、次要矿物的含量比例、粒径及分布状况等。然而，砚石的基本硬度（H_M）多在2．5～4.0之间，其中端石的显微硬度在47.63～58.30kg/mm²之间，平均为51.00kg/mm²，相当于摩氏硬度2.50；歙石的显微硬度为110.98kg/mm²，相当于摩氏硬度3.24。

3. 韧度

砚石必须具有一定的韧性。据实验测试，端石的抗压强度为660～1154kg/cm²，抗剪强度为109～212kg/cm²，因而具有良好的雕刻工艺性能。

4. 断口

砚石多具细粒状断口，断面不太平整。砚石在外力作用下，可能沿原生的或次生的裂纹裂开，其断面不平坦；也可能沿泥岩、灰岩、大理岩的层理或板岩、千枚岩的板理及片理裂开，其断面则较平坦。

5. 渗透率

砚石的渗透率极低。如端石的孔隙率在1.02%～1.60%间，个别3.49%；饱和吸水率为0.30%～1.29%，两者均极低。将砚石浸没于水中，取出后，用小刀刮削表皮薄薄的一层，可见干燥的岩石。这是由于组成砚石的矿物具有特殊的层状结构，加之颗粒十分细小，粒间孔隙也十分细小，从而水不易渗透，致使透水性和吸水性都差。

二、砚石的品种

从岩石角度出发，砚石可划分为沉积岩和变质岩两大类。沉积岩大类砚石又有泥岩类、凝灰岩类和灰岩类砚石之分；变质岩大类砚石又有板岩类、千枚岩类和大理岩类砚石之分。从实用性观点看，能作砚石的岩石以板岩类居多，石灰岩类次之，大理岩类、千枚岩类、凝灰岩类和泥岩类较少。名扬天下的“四大名砚”（端、歙、洮、红丝）中的前三者（端石、歙石、洮河石）主要均为板岩，红丝石为石灰岩，也有部分端石为泥岩，而部分歙石为千枚岩。

1. 泥岩类砚石

泥岩类砚石是指主要由黏土矿物、细碎屑及少量粉砂碎屑组成，并具泥质结构、层理构造的沉积岩。如广东的部分端石、贵州思石、湖南菊花石、浙江西石、江苏峪村石、山东田横石和温石等，其中以广东的端石最为著名。

2. 凝灰岩类砚石

凝灰岩类砚石主要由小于2mm的火山碎屑物（约77.0%）、且以0.0625～2mm的火山灰为主组成的火山沉积岩，其中以绢云母化凝灰岩为主。如浙江的越石和广东的部分端石。

3. 板岩类砚石

板岩类砚石是指泥质或粉砂质及部分中酸性凝灰质岩石中的矿物成分经初步重结晶形成的、颗粒极细并具隐晶质结构、板状构造，且是由绿泥石或云母等矿物组成的非常低级的变质岩，按其矿物组分的百分含量划分为六个亚类：板岩、含粉砂板岩、斑点含粉砂板岩、粉砂质板岩、含砂粉砂质板岩和含粉砂质板岩类砚石。如广东端石、安徽歙石、江西龙尾石、甘

肃洮石（见图3-2-168）、宁夏贺兰石、河南天坛石、四川苴却石（见图3-2-169）等。



图3-2-168 洮砚



图3-2-169 苴却砚

4. 千枚岩类砚石

千枚岩类砚石是指泥质或粉砂质及部分中酸性凝灰质岩石中的矿物成分经较强重结晶后形成的、粒度稍粗，具隐晶质结构和千枚状构造，且是由绿泥石、云母、长石和石英组成的一种类似于板岩的变质岩，如砣矶石和部分歙石。

5. 灰岩类砚石

灰岩类砚石是主要由方解石（> 50%）组成、另含少量陆源碎屑或粘土矿物、具隐晶质结构、层理构造的碳酸盐岩，包括泥灰岩、含泥灰岩、云灰岩及微晶灰岩。如山东的红丝石、尼山石、淄石、徐公石和燕子石等十余种，吉林的松花石，内蒙古的斑马石，安徽的乐石、磬石和湖南等省的菊花石，其中以山东红丝石最负盛名。

6. 大理岩类砚石

大理岩类砚石是指灰岩或泥灰岩经变质而成的碳酸盐（方解石、白云石）岩石，并具粒状变晶结构、块状构造及条带状构造，因产于云南大理而得名。其中具细粒变晶—显微变晶结构者，如白色大理岩（蔡州白石）及黑色大理岩（织金石）等均可用于制砚。

7. 陶砚类砚石

澄泥砚属陶砚类，即以过滤的细泥为材料，经过配料、成型、焙烧制作而成的研磨器具（除江苏灵岩山产出的石质澄泥砚外，主要组成是角岩化粉砂泥岩，又称太湖石）。虽然澄泥砚不是石砚，但制作的原料仍是自然矿物资源，为质地细腻的沉淀河泥。不同产地的泥质所含矿物元素含量不同，因而在烧制过程中产生出不同的颜色。澄泥砚的品类按照颜色来分，有黄、青、暗绿、深紫等（见图3-2-170）。我国古代生产澄泥砚的地方主要是山西的绛州和河南的虢州。



图3-2-170 澄泥砚

三、砚石主要品种的鉴定特征

1. 泥岩类砚石的鉴别特征

泥岩类砚石的颜色单调，主要呈灰、灰白、青灰、深灰、黑灰、黑和深紫色；光泽暗淡，主要呈土状光泽或无光泽；具泥质或隐晶质结构，层理构造；主要由水云母等黏土矿物组成，可含赤铁矿、炭质等着色物质；滴盐酸（HCl）不起泡，属硅酸盐类砚石。

2. 凝灰岩类砚石的鉴别特征

凝灰岩类砚石呈灰褐色；具蜡状光泽；具典型凝灰结构，块状构造；含玻屑、晶屑和岩屑；滴酸不起泡，属硅酸盐类砚石。

3. 板岩类砚石的鉴别特征

板岩类砚石的颜色较鲜艳，主要呈黑、酱紫、绀绿色；光泽较暗淡，且不具丝绢光泽；具隐晶质结构；具完好的平行面理，面理间距小于1mm，即板状劈理，并常与层理斜交；主要由绢云母、绿泥石等叶片状矿物定向排列而成；滴盐酸不起泡，属硅酸盐类砚石。

4. 千枚岩类砚石的鉴别特征

千枚岩类砚石发育微弱的片理，且片理面上具有强烈的丝绢光泽；仍具隐晶质结构，具皱纹线理构造、格劈构造或分凝条带构造；绢云母、黑云母和绿泥石等层状硅酸盐矿物含量大于50%，且含有较多的石英；滴酸不起泡，属硅酸盐类砚石。

5. 灰岩类砚石的鉴别特征

灰岩类砚石的颜色鲜艳，主要呈黄红、橙黄、深绿及灰黑等色；具隐晶质结构，层理构造发育，并构成十分美丽的花纹图案；主要由方解石或方解石和泥质构成；滴盐酸起泡，属碳酸盐类砚石。

6. 大理岩类砚石的鉴别特征

大理岩类砚石主要有黑、白二色；光泽较强，呈玻璃光泽；粒状结构，粒度稍粗，肉眼下可见方解石微晶；滴盐酸起泡，属碳酸盐类砚石。

肉眼观察砚石，可根据是否可见颗粒、手摸是否有柔嫩之感、指按是否有手印、呵气是否凝聚露珠等来确定石质的细腻程度。以水浸之，然后用小刀刮之，可根据内部的岩石是否干燥或滴水是否很快被吸收来确定砚石的吸水率或渗透率。用指甲和小刀可试其硬度，若不能被指甲（H_M=2.5）划伤而易被小刀（H_M=5.5）划伤，则说明其硬度介于3～4之间，同时还可确定其石质是否奏刀，即是否适于雕刻加工，从而确定砚石的档次。可根据试雕和试用情况，确定砚石是否达到工艺要求及质量的优劣。

将砚石切片，在显微镜下可鉴别组成砚石的矿物成分、百分含量、粒度和分布状况等；将砚石粉末作化学分析或电子探针分析，可确定砚石的化学成分、化学稳定性、颜色成因及构造纹饰；用压入法可测定砚石的绝对硬度，等等。据此可确定石砚的下墨、发墨和贮墨效果。

四、砚石的质量评价

佳砚应该是既下墨又不损毫，既易磨又发墨，倘若具有各种天然纹饰，有如锦上添花，再加上块度巨大，更是砚中珍品。下面从质地、色泽、净度和块度4个方面进行砚石质量的评价。

1. 质地

砚石的质地要求既细腻润泽又微有铓锷，才有利于“发墨”。这就要求砚石的结构要致密，即组成砚石的主要矿物与次要矿物的颗粒均要细小，约80%以上的矿物颗粒均需在0.01mm左右，但矿物颗粒不能太细腻以致无铓锷，否则拒墨；主要矿物的解理面需排列整齐有序，形成特殊的显微铓锷，使研磨腻而不滑、下墨效果极佳；主要矿物与次要矿物的分布要十分均匀，否则有碍于研磨。另外，泥质与硅质并存，经浅变质作用后，会使砚石的质地更加坚实致密、刚柔相济，并使其莹润嫩滑、易于发墨，而且透水性差、贮墨不涸。

砚石要求具有韧性，当墨锭作用于砚堂面研磨时，墨锭与砚堂面紧密接触，墨锭好像被一股魔力粘滞于砚堂面，使石砚具有“磨而不滑”的效果。

砚石的最佳硬度应在3～4之间（因墨的硬度为2～3），而且次要矿物的硬度最好比主要矿物的硬度高2～3，形成适当的硬度差，促使“下墨”。若石砚的基本硬度太高及其砚面过于光滑无铓锷，则其“下墨”效果差，谓之“打滑”；若石砚的硬度太低或矿物的结构层内联

结力太弱，则砚堂易于磨损，且磨出的石沫与墨汁混合，使墨汁暗淡无光，谓之“不发墨”。

2. 色泽

砚石的颜色要求素雅深沉、深浅合适、柔和悦目，其中以黝黑、酱紫、暗绿为佳，褐黄、灰绿及灰白等色次之。

砚石的光泽愈强愈好，但其光泽一般较暗淡，以油脂光泽、珍珠光泽和丝绢光泽为佳（见图 3-2-171）。



图 3-2-171 端砚

3. 净度

砚石应无裂隙，最好无“筋”。裂隙有原生裂隙和次生裂隙，而石筋是方解石、石英或黄铁矿等的细脉。但当石筋构成一定的花纹图案时，反而可提高石砚的价值。

4. 块度

砚石必须具有一定的块度，以能雕琢一方砚台为宜，其标准规格为25cm × 13cm × 9cm。砚石要具有一定的厚度，大概在30mm以上。一般来说，灰岩、泥岩、凝灰岩和大理岩的单层厚度易于达到要求，而板岩和千枚岩则要求板理与层理平行一致，板理要平整，其厚度应大于30mm。

五、砚石的产地简介

世界上仅有中国、日本、朝鲜等几个国家产砚石。中国盛产砚石，且其产量最大、质量最佳、工艺最精。据不完全统计，我国古今砚石有100余种，如今正在生产的砚石有50余种，遍及22个省、4个自治区和2个直辖市。我国砚石主要集中于华东、华南和西南三大区，其次是西北、华北和东北三大区及台湾省。华东有45种砚石，现正在生产的砚石有22种之多，它们分别是峪村石、越石、青溪石、西砚石、乐石、磐石、紫云石、朗石、寿山石、龙岩石、闽石、龙尾石、罗纹石、金星家石、石城石、贡砚石、虎矾石、红丝石、淄石、徐公石、燕子石、尼山石，其中以歙石、龙尾石、红丝石最为著名。华南有28种砚石，现正在生产的砚石有8种，它们分别是天坛石、方城石、冰河石、菊花石、三叶虫石、水冲石、端石、柳石，其中以端石和天坛石最为名贵。西南有17种砚石，现正在生产的砚石有9种，它们分别是直却石、蒲石、北泉石、嘉陵峡石、金音石、白花石、思州石、织金石、仁布石，其中以直却石最佳。西北有8种砚石，现正在生产的砚石有5种，它们分别是菊花石、金星石、贺兰石、洮河石、嘉峪石，其中以洮河石最为出名。华北有7种砚石，现正在生产的砚石有4种，它们分别是斑马石、潭柘紫石、易水石、五台石，其中以易水石最为有名，且是历史上最古老的砚石。东北仅有松花石1种，现正在生产。台湾有2种砚石，其中螺溪石正在生产。

第十八节　鸡 血 石（巴林石）

鸡血石因迪开石中含殷红艳丽的辰砂，宛如鸡血凝成，故名。鸡血石按产地主要有昌化鸡血石和巴林鸡血石。

昌化鸡血石的发现和开采已有六百多年的历史，据记载始于元代，兴于明代（公元1368～1644），盛于清朝乾隆。解放前由于战乱一度停止开采，而新中国成立后又曾经将其作为汞矿开采，使其价值未能充分体现出来。1972年9月，日本总理大臣田中角荣访问中国时周恩来总理曾以国礼赠送鸡血石“红云图”印章一副（见图 3-2-179），自此在日本和东南亚掀起了一股鸡血石热。目前昌化鸡血石的产量日渐稀少。

巴林石大规模开发较晚，但其发现和利用却可以追溯到8000年前，考古工作者在位于赤

峰市敖汉旗的兴隆洼文化遗址发现了8000年前用巴林石制作的人面型佩饰。收到巴林鸡血石是巴林石中一个重要品种。目前，巴林石的产量、销量等均超过昌化石。

鸡血石与田黄石、青田灯光冻石被誉为“印石三宝”。鸡血石为中国印文化的发展作出了独特的贡献，同时在玉雕工艺中形成了“鸡血”雕独特流派，其作品以“瑰丽、精巧、高雅、多姿”著称。

一、鸡血石的基本性质

（一）鸡血石的物质组成

1. 矿物组成

鸡血石主要由迪开石（质量分数常为85%～95%）、辰砂（质量分数常为5%～15%）组成，并含高岭石、珍珠陶土、硬水铝石、明矾石、黄铁矿和石英等（质量分数常为1%～5%）等其他矿物。鸡血石的“地”主要由迪开石或高岭石与迪开石的过渡矿物组成；而“血”主要由辰砂组成，其中微粒状辰砂（5%～50%）被迪开石或高岭石所包裹，辰砂呈浸染状分布。

鸡血石的矿物成分与其质地有一定关系。当鸡血石由迪开石和辰砂这两种极细粒状矿物组成时，其质地细润，呈半透明状，犹如胶冻，有“冻地鸡血石”之称；当它含有较多的明矾石（H_M=3.5～4）时，其透明度降低以至不透明，光泽减弱以至无光泽，硬度增大，同时脆性也增大；当它含有较多的石英（H_M=7）、黄铁矿（H_M=6～6.5）或次生石英岩化晶屑、玻屑凝灰岩残留物时，由于这些杂质的硬度高于迪开石的硬度，因而有碍于鸡血石的美观和不利于雕刻，工艺上称之为“砂钉”。

2. 化学组成

辰砂的化学式为HgS。

迪开石、高岭石、珍珠陶土的化学式同为$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$。

（二）鸡血石的结构与构造

1. 结构

鸡血石主要呈显微隐晶质结构、显微粒状结构、显微鳞片状结构和纤维鳞片状结构。在扫描电镜下观察，迪开石呈假六方板状或他形粒状，结晶颗粒细小（0.005～0.2mm），结构致密，为鳞片状集合体；而辰砂呈微细粒状、他形粒状或鳞片状，结晶颗粒细小（0.005～0.1mm），常聚集成斑块状、条带状等，分布于迪开石或高岭石与迪开石的过渡矿物中。

2. 构造

鸡血石主要呈极致密块状构造，个别为变余角砾状构造。血呈细脉状、条带状、片状、团块状、斑点状和云雾状散布于地上。

血按其分布形态可划分为点状、线状和团块状。所谓点状，即辰砂微粒呈星点状、浸染状或云雾状。线状是指辰砂微粒沿鸡血石的裂隙分布，当垂直裂隙面切割时，呈脉状，沿裂隙面切割则呈面状，血很薄。而团块状则是指辰砂微粒呈团块状分布于鸡血石的地中或辰砂与地融为一体，血深厚。

（三）鸡血石的光学性质

1. 颜色

鸡血石的颜色包括“地”的颜色和 “血”的颜色两部分。“地”通常呈白、灰白、灰黄

白、乳白、瓷白、灰、浅灰、深灰、灰黑、黑灰、青灰、红、粉红、紫红、黄、黄灰、褐黄、浅黄绿、深绿、黑褐、黄褐、棕、黑、无色以及它们的混合色。地的颜色取决于迪开石的吸收光谱中的峰位及峰高。迪开石的吸收光谱（用偏振显微吸收光谱仪测试）是由一个吸收边和三个吸收峰叠加而成，其中主吸收峰是一个宽峰，在562nm左右，处于黄绿色的波长范围内，主要吸收黄绿光，当该峰高强时，黄绿光被大量吸收，剩余的紫、红光混合成紫光，则迪开石呈紫色；而当该峰高较低时，则仅吸收少量的黄绿光，使黄、绿光混合为黄绿色。

“血”常呈鲜红、朱红（大红）、暗红和淡红色。血的颜色是由辰砂的颜色、含量、粒度及分布状态所决定的。辰砂的颜色是由微量元素决定的。据陈志强等（1993）用电子探针分析发现，辰砂中的Hg、S均发生类质同象代替，其中少量Hg^{2+}被Fe^{2+}、Zn^{2+}取代；而少量S^{2-}被Se^{2-}、Te^{2-}取代，且随着感光元素硒（Se^{2-}）、碲（Te^{2-}）含量的增加，血的颜色从鲜红向朱红到暗红变化。当辰砂的质量分数小于9%或大于20%时，血色均不够鲜艳；只有其质量分数介于9%～20%之间时，血色才鲜艳。辰砂的粒度大（>0.05mm），血色较暗；其粒度越细小（0.005～0.05mm），血色越纯正；辰砂颗粒分布越均匀，血色越明快。另外，辰砂上所覆盖的迪开石颜色较深、厚度较大或透明度较差，迪开石对光的吸收也较多，致使血色较暗；反之，在辰砂上仅覆盖薄薄一层无色透明的迪开石，因迪开石对光的吸收也较少，致使血色更鲜艳。换言之，辰砂的颜色越艳丽、含量适当、粒度越小、分布越均匀及迪开石的颜色浅、厚度薄、透明度好，则血色鲜艳明快、纯正无邪，即呈暖色调，工艺上称之为“艳”。

2. 光泽

鸡血石的原石一般无光泽或呈土状光泽，个别透明度好者呈蜡状光泽或油脂光泽；其抛光面一般呈蜡状光泽或油脂光泽，个别可呈玻璃光泽；而其中的“血”(辰砂)可呈金刚光泽。

3. 透明度

鸡血石呈不透明至近于透明，多呈不透明至微透明，个别冻地鸡血石近于透明。

4. 光性特征

非均质集合体。

5. 折射率

“地”约1.56（点测法）；“血”>1.81。

6. 多色性

无。

7. 紫外荧光

常不特征。

8. 吸收光谱

不特征。

（四）鸡血石的力学性质

1. 密度

高岭石的密度为2.60～2.63g/cm^3，迪开石的密度为2.62g/cm^3，珍珠陶土2.5g/cm^3，辰砂的密度为8.0～8.2g/cm^3。含血较少的鸡血石的密度为2.53～2.68g/cm^3，不同产地不同品种鸡血石的密度因血所占的比例大小不同而变化较大。

2. 硬度

鸡血石系由多种不同硬度的矿物组成的集合体，但以迪开石为主，因而鸡血石的硬度可用迪开石的硬度来代替。其摩氏硬度为2～3，而昌化鸡血石的摩氏硬度略高于巴林鸡血石的硬度。

3. 韧性

鸡血石具有极致密的结构，因而韧性极好，具有滑感，并具抗水解性。但韧性也有性绵（裂纹或隐裂较少）和性脆（裂纹或隐裂较多）之分。绵性鸡血石硬而不脆，多为水坑鸡血石或靠近地表的鸡血石，石性柔和，特别受刀或奏刀，雕刻时，石屑呈刨花状，具有“粘性”；而脆性鸡血石多为旱坑鸡血石或地下深处的鸡血石，石性脆裂，有时在雕琢快完工之际碎裂，雕刻时，石屑呈渣状或粉状。

4. 断口

鸡血石多呈贝壳状至平坦状断口，断面较光滑。

（五）放大检查

“血”成微粒或细粒状成片或零星分布于“地”中。

（六）特殊光学效应

未见。

二、鸡血石的分类和品种

（一）分类

目前国内市场中鸡血石的分类尚不完善，众说纷纭，时下较流行的分类方案有以下几个。

1. 按产地划分

鸡血石按产地可划分为昌化鸡血石、巴林鸡血石和其他产地鸡血石三大类。

（1）昌化鸡血石

昌化鸡血石是产于浙江临安市昌化区上溪乡邵家村。昌化位于浙江西部临安地区与安徽交界的山区，是西天目山脉的南部延伸，邵家村所处的山区，旧称十二都康山岭，产石的一段原名玉石山，现名玉岩山。昌化鸡血石血色鲜活浑厚，纯正无邪，但地稍差，因而有“南血”之称（见图3-2-172）。

（2）巴林鸡血石

巴林鸡血石是指产于内蒙古巴林的鸡血石。其“地”细腻滋润，透明度好，并以冻地为主，几乎没有“软地”、“刚地”、“硬地”，且不含“砂钉”，但血色淡薄娇嫩，因而有“北地”之称（见图3-2-173）。



图3-2-172 昌化鸡血石〝佛光普照〞



图3-2-173 巴林鸡血石——牛角冻鸡血石原石

2. 按“地”的性质划分

鸡血石按地的成分、颜色、透明度和硬度四因素综合分为四大类：冻地鸡血石、软地鸡血石、刚地鸡血石和硬地鸡血石。

（1）冻地鸡血石

冻地鸡血石是指质地细润清亮、透明度好、硬度低，犹如“胶冻”的鸡血石。其地主要

由迪开石和高岭石组成，呈白、黑、黄、灰、粉红以及黄白黑的混色，强蜡状光泽或油脂光泽，微透明至半透明，硬度低，H_M=2～3。主要有羊脂冻、牛角冻、黄冻、肉糕冻、芙蓉冻、藕粉冻、杨梅冻、桃花冻、玫瑰冻、五彩冻、水晶冻、鱼子冻、玛瑙冻、五彩冻、羊脑冻、蓝天冻、藕粉冻等（见图3-2-174）。

（2）软地鸡血石

软地鸡血石是指质地较为细腻、硬度较低的鸡血石。其地主要由迪开石和高岭石组成，另含一定量的明矾石。呈白、灰白、浅粉、黑、黄及黄白黑的混色，蜡状光泽，微透明至不透明，硬度H_M=3～4。主要有白玉地、黄玉地、黑地、花地、瓦灰地、青灰地等（见图3-2-175）。


图3-2-174 冻地（桃花冻）鸡血石"李白拜月"


图3-2-175 软地（白玉地）鸡血石"血峰朝旭"

（3）刚地鸡血石

刚地鸡血石是指质地稍粗糙、有"玉"感、硬度较高的鸡血石。其"地"主要由迪开石、高岭石和明矾石组成，并含一定量的显微晶质石英。颜色呈白、乳白、粉红、黑、褐黄和浅灰色，蜡状光泽，微透明至不透明，硬度H_M=4～6，性较脆，易碎裂。主要有刚灰地、刚褐地、刚黄地、刚白地等（见图3-2-176）。

（4）硬地鸡血石

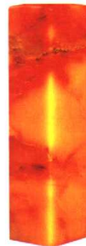
硬地鸡血石是指颜色发白、质地粗糙而干燥、硬度很高的鸡血石。其"地"主要由次生石英岩化凝灰岩或残余流纹岩组成。以灰、白二色为主，无光泽，不透明，无油性，摩氏硬度6～7，性脆。主要有水泥地（见图3-2-177）。

3. 按"血"的颜色及特性划分

鸡血石按其"血"的颜色、多少和血形以及"地"的颜色可划分为大红袍（血量占90%以上）、小红袍（血量占70%～90%）、刘关张（白或黄、红、黑色）、黑旋风（纯黑的地子）、红帽子（血色在料的顶部）、红腰带（血色在料的中部）以及夕阳红、翡翠红、彩霞红、牡丹红、芙蓉红等（见图3-2-178）。


图3-2-176 刚地鸡血石章料


图3-2-177 硬地鸡血石"一帆风顺"


图3-2-178 彩霞红鸡血石

三、鸡血石与相似玉石的鉴别

鸡血石由于含有特征的"鸡血"，并与较软的黏土矿物集合体配合，一般不会与其他玉石混淆。不过，外观或名称与鸡血石相似的玉石仍有几种，如俗称的"血玉髓"、"朱砂玉"，寿

山桃花冻以及染色岫玉等。

（一）鸡血石与玉髓的区别

含红至棕红色斑点的暗绿色不透明的玉髓，俗称“血滴石”或“血玉髓”。“血玉髓”中的血红色常呈斑点状、星点状和血滴状；而鸡血石中的血红色呈团块状、条带状和星点状及其他的组合形态。“血玉髓”中的血通常呈红至棕红色；而鸡血石中的血通常呈鲜红或朱红色。“血玉髓”的地呈暗绿色；而鸡血石的地可呈各种颜色，并有单色和杂色之分，且很少呈暗绿色。“血玉髓”呈玻璃光泽，贝壳状断口，并呈蜡状至玻璃光泽；而鸡血石呈蜡状光泽，贝壳状至平坦状断口，并呈土状或蜡状光泽。“血玉髓”最显著的特征是硬度大（H_M=6.5～7），用小刀划不动；而鸡血石通常较软，摩氏硬度2～4，极易被小刀刻动。根据上述特征差别即可区别之。

（二）鸡血石与石英岩的区别

含辰砂而呈鸡血红色的致密块状的石英岩，俗称“朱砂玉”亦称“牡丹玉”，是1981年在吉林发现的一个新玉石品种。1993年又在另一个地方发现此种玉石，因产于金矿的顶部，俗称“金顶红”。

“朱砂玉”中的辰砂非常细小，多均匀分布，呈朱红或鲜红色，局部紫红或淡暗红色，但也有类似缠丝玛瑙的暗红色环；而鸡血石中的辰砂虽然非常细小，但并非均匀分布，因而多呈脉状、块状或丝状。“朱砂玉”呈金刚光泽至油脂光泽，不透明；而鸡血石呈蜡状光泽，不透明至半透明。“朱砂玉”细腻致密，肉眼见不到石英颗粒，质地坚硬（H_M=7），用小刀刻划不动；而鸡血石质地柔软致密，硬度较低（H_M=2～4），很易被小刀划伤。“朱砂玉”密度较大（3～6g/cm³），用手掂有沉坠感；而鸡血石密度稍小（2.53～2.68g/cm³），用手掂较轻。“朱砂玉”性韧且裂纹少；而鸡血石性韧或性脆，且裂纹较多。“朱砂玉”中可见微细石英脉（脉宽约0.1mm）切穿缠丝状色环，在基质的孔隙中可见亮灰色粒状金属矿物（粒径约0.05～0.002mm）；而鸡血石偶见白色迪开石细脉切穿“鸡血”，在基质中也可见细粒状黄铁矿等金属矿物。

（三）鸡血石与寿山桃花冻的区别

桃花冻，是寿山石中的一个品种，即在白色透明的地子中，散布着如同米粒大小的鲜红血点，宛如无数片艳丽的桃花瓣飘浮于一泓清水之上。

桃花冻的地与白冻鸡血石的地极为相似，二者之间的区别就在于红色的形态、大小和分布特征不同。桃花冻的红色呈圆点状，仅米粒大小，或密或稀，均匀分布；而鸡血石的血则呈块状、条状和点状以及它们的组合形态，血可大可小，血的分布千姿百态。

（四）鸡血石与染色岫玉的区别

染色岫玉，即将岫玉加热后浸于红色颜料中，红色颜料沿裂隙沉淀，形成染色岫玉，俗称“血丝玉”。

染色岫玉的血色为紫红或玫瑰红色，血色不正，血因受裂隙控制而呈粗细不一的脉状，并构成网状；而鸡血石的血色鲜艳纯正，血形除呈脉状外，还呈块状和点状。染色岫玉的地呈白或淡绿色，透明度好，多呈半透明状；而鸡血石的地有多种颜色以及杂色，透明度一般较差，多呈不透明状。染色岫玉多用于手镯、玉佩等首饰；而鸡血石几乎不用于手镯，偶尔用于玉佩。

四、鸡血石的优化处理与鉴别

鸡血石优化处理方法主要有涂层法、拼接镶嵌法、添补法、压制法、仿造鸡血石五种方法，其特点和识别方法综述如下。

（一）涂层法

涂层法处理鸡血石主要用在方章上，将无血的方章，参照鸡血石的血形，将大红色油漆涂抹在方章上，待干燥后，放到透明的树脂里浸渍，干后即成。这种赝品如切割开横截面可以清楚地看到其双层结构，内层为方形印石，颜色比较单一，或黄或灰或白，无红色；外层为一圈透明或半透明的树脂胶，或薄或厚，靠近内壁可见时隐时现的红色条纹。这种方法制作的假鸡血石，在市场上被称为“工艺鸡血”。

在早期这种处理方法的涂层比较厚，达2～3mm，肉眼比较容易识别；近期用了新的树脂品种，高透明度，粘度高，耐老化，可以涂很薄一层，里面的原石颜色和结构都比较清楚，不注意很容易上当。

除了方章以外，有些鸡血石的摆件也用此法作假。可以从以下几方面进行鉴别。

1. 光泽

处理鸡血石表面是一层树脂，因而呈典型的树脂光泽，光照特亮。而天然鸡血石为蜡状光泽，亮度柔和。

2. 颜色

假血系手绘涂抹的大红油漆，血色单一，血形单调呆板，很不自然，不像天然鸡血石，其血色深浅变幻，血形自然流畅。

3. 导热性

处理鸡血石外层为树脂，将其贴在脸部时为温感，而天然鸡血石为凉感。

4. 韧度

用刀尖在底面点刺，天然鸡血石呈白点，有脆感；而假鸡血石无白点，有韧感。

5. 发光性

处理鸡血石为树脂胶和油漆，有荧光效应，地子为白荧光，油漆为红色荧光。而天然鸡血石辰砂无荧光，地子有局部荧光。

（二）拼接镶嵌法

此种处理方法主要用于中件或大件的鸡血石摆件。具体方法是将多个小块鸡血石用胶拼接在一块大的天然的印章石表面，然后对其粘接部做工艺雕琢处理，使之隐蔽，冒充大块整体鸡血石；或选用一块质地较好的无血的印章石，择其几面醒目的地方，分别挖出几个大小形状、深浅不一的坑，然后用鸡血石碎料蘸胶水嵌入，让其自然干燥后磨平，在镶嵌的细缝和空当处添入石粉和胶，待干燥后再磨平，打蜡上光即成。此种拼接镶嵌的鸡血石较易鉴别，其拼接部位往往出现低洼沟，两侧血形、血色、地以及纹理不连续，仔细对比可发现两部分之间没有过渡的色阶，缺乏层次，血色血形紊乱，变化不自然。

（三）添补法

添补法主要是在血少、血淡的低档鸡血石上涂抹一些红油漆，一方面增加血色，另一方面也可掩盖一些地子上的瑕疵，以假冒高档鸡血石。这种真假鸡血同时存在鸡血石，仔细观察时，往往可以看到两种不同的血色，一种稀薄暗淡，一种浓厚鲜艳，前一种为真血（辰砂），

后一种为假血（油漆），用刀尖点刺，真血呈白点，有脆感，而假血无白点，有韧感。

（四）压制法

仿造鸡血石可用岩粉和树脂压制而成。“血”的材料是用大红油漆，岩粉的材料有绿泥石、滑石、萤石、碳酸盐、石盐等。有时加上少量石英小颗粒，仿造鸡血石的“钉”，有些掺入一些细粒的黄铁矿，血和地子的分布形态比较自然。但树脂和红漆通常有荧光现象（地子为白色荧光，漆为红色荧光）。天然鸡血石中辰砂无荧光，地子可有局部荧光。另外，仿鸡血石密度一般较小为1.8～2.2g/cm^3，用手掂一般可以感觉出来。

准确的鉴定可在底面刮些粉末做红外光谱或X光衍射分析，仿制品没有辰砂矿物的峰值，而有机峰值明显出现。

（五）仿造鸡血石及其鉴别

用黑或灰黑色塑料做地，在其上用辰砂粉末或红色有机颜料染料当“血”，并在其外表涂一层保护树脂，俗称“工艺鸡血石”。其鉴别特征如下：

1. 地子特征

仿造鸡血石以暗色不透明的塑料为地，所以颜色单调，整体几乎不透明；而天然鸡血石的地是由不同世代的迪开石组成的，后一世代迪开石的透明度高于前一世代迪开石，且沿前一世代迪开石的裂隙或孔洞分布，形成冻石细脉或团块，因而他的颜色丰富，透明度常不均匀，即在不透明的地上可含有微透明或半透明的“凉地”，但常含有绺裂和杂质。

2. 密度特征

仿鸡血石的密度偏低，因其地是塑料，血是油漆或树脂等；而天然鸡血石的密度较大，因其地是迪开石，真血由迪开石和辰砂组成。用手掂重，仿鸡血石有轻飘之感；而天然鸡血石则给人沉坠之感。

3. 加热试验

在加热过程中，血和地均软化、变形、熔融甚至烧焦，说明是模仿鸡血石。另外，用热针触及样品，若“血”和“地”均软化和冒白烟，则说明是模仿鸡血石。

4. 热感

模仿鸡血石贴于面部有温感，而天然鸡血石则给人“冰凉透心”之感。

五、鸡血石的质量评价

鸡血石的质量评价主要从颜色、质地、净度、块度等几个方面进行。

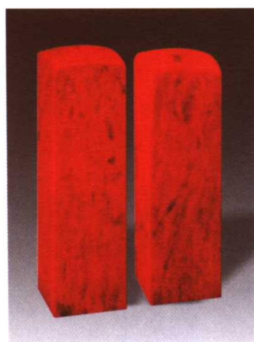
（一）血的评价

血的好坏是由血色、血量、浓度和血形四要素所决定的。评价鸡血石的血，最好在上午9～10点的日光下，位于朝南的室内，利用漫反射光观察，或在宝石灯下观察。

1. 血色

鸡血石的血色要求艳而正、还要活，并“渐融”于地中。其血色可分为鲜红、朱红（大红）和暗红（含淡红）三级，其中以纯正无邪的鲜红色最佳，朱红（大红）次之，暗红（含淡红）最差。然而，同一方鸡血石印章中，也可同时存在二至三个等级的血色，此时必须确定以哪一个颜色等级为主，以便准确地划归到相应品级的鸡血石中，从而正确估价。

2. 血量


图 3-2-179　大红袍鸡血石对章"红云图"

鸡血石的血量是指在鸡血石中血所占的百分含量（目估）或章料中含血面数的多少，其中鸡血含量越多，所覆盖的面积越大，含血面越多，其品级就越高，价值也就越高。不过，即使鸡血石含血量相对较少，但血的形态以及所构成的花纹图案很美观，其品级和价值也可很高。一般来说，血量＞50% 的鸡血石属于特级品；血量＞30% 的鸡血石属于一级品；血量 10%～30% 的鸡血石属于二级品；血量＜10% 的鸡血石为三级品。对于鸡血石方章来说，全血鸡血石为上，即六面均有血的方章为特级品，如大红袍鸡血石（见图 3-2-179）；四面、五面含血的鸡血石次之，然而"红帽子"鸡血石也是难得的珍品；三面和侧对面含血鸡血石又次之；单面和顶脚或局部含血的鸡血石最差。

3. 浓度

鸡血石的血有浓密、稀疏之分，因而血的分布按聚散程度可划分为浓、清、散三级，其中以血浓密者为上，清淡者次之，而以散者最差。所谓"浓"，是指鸡血石中的血呈鲜红色，分布集中，而"散"则是指鸡血石中的血分散而不集中，含有稀少淡薄之意。

4. 血形

鸡血石的血形即指血的形态，有团血（包括块状血）、条血（包括脉状血、丝状血）和点星（点状血、云雾状血）之分，其中以团血、条血为佳，点血次之。然而，由团血、条血和点血这三种基本形态，可构成栩栩如生的自然景观和各种优美图案的鸡血石。图案优美的鸡血石，其品级可大大提高，价值倍增。

（二）地的评价

地的质量是由颜色、透明度、光泽和硬度四个要素决定。鸡血石以颜色深沉或淡雅、半透明、强蜡状光泽和硬度小的冻地为佳。评价地，应在日光或灯光下观察鸡血石的地的颜色均匀程度、透明度高低、硬度大小和质地细润等情况。鸡血石以色匀、透明度高、硬度低和质细为佳。

1. 颜色

鸡血石的地色有单色与杂色之分，其中以颜色均匀的单色地为佳。

2. 透明度


图 3-2-180　芙蓉冻

鸡血石的地按透明度可分为半透明、微透明和不透明三级，从硬地—刚地—软地—冻地，其透明度逐渐增强，并以半透明的"冻地"为佳（见图 3-2-180）。

3. 光泽

鸡血石的地主要呈蜡状光泽，但按光泽强弱可划分为油脂光泽、强蜡状光泽、蜡状光泽、弱蜡状光泽和无光泽五级，其中以冻地的油脂光泽和强蜡状光泽为最佳。

4. 硬度

鸡血石的地按硬度可划分为冻地（H_M=2～3）、软地（H_M=3～4）、刚地（H_M=4～6）和硬地（H_M=6～7）四级，其中以冻地为最佳，软地次之，刚地和硬地最差。

鸡血石的颜色美观与否,与地的颜色和血的颜色是否协调,以及地的透明程度有密切关系。若鸡血石的地色与血色对比强烈，则血的红色鲜明生动、效果极佳。若鸡血石的地色与血色反差很小，如地色呈红、粉红和紫红色等，则会发生“地子吃血”现象。另外，鸡血石地的透明度越高，即地越油润，血就有扩大和增多的趋势，出现“血照映地子”的效应，并使血与地搭配得更加理想。

（三）净度的评价

净度是指鸡血石内部所含的裂和杂质等瑕疵（俗称“石病”）的程度。瑕疵的多少直接影响鸡血石的美观、雕琢、品级和价值。

1. 杂质

鸡血石的杂质有软性杂质和硬性杂质之分。所谓“软性杂质”，是指硬度与鸡血石硬度相近的杂质，一般而言，这些杂质对鸡血石的美观有一定影响，通常会干扰血构成的图案。然而，当这些杂质在鸡血石中参与形成具有观赏价值的优美图案时，还会提高鸡血石的品级以及经济价值。而硬性鸡血石杂质是指鸡血石中所含的硬度较大的矿物包体（如石英、黄铁矿）和变余次生石英化晶屑凝灰岩角砾，“砂钉”严重影响鸡血石的美观和雕琢，当“砂钉”含量超过10%时，工艺性质极差，失去宝石价值，即使“砂钉”的含量稍小于10%，也只能属于低品级鸡血石。

2. 绺裂

鸡血石的绺裂有原生裂纹和后生裂纹之分。所谓“原生裂纹”，工艺上称之为“绺”，系鸡血石在成矿早期或同期所形成的原始裂纹，后又被迪开石或黄铁矿，甚至被深黄色至黑色黏土所充填，形成迪开石脉、黄铁矿脉和黏土夹层，其中迪开石脉一般不影响鸡血石的质量，偶尔影响鸡血分布的连续性和所形成的花纹图案；黄铁矿脉严重影响鸡血石的工艺性能，并破坏鸡血的花纹图案；黏土夹层则严重影响鸡血石的质量。“后生裂纹”，工艺上称“裂”，通裂是鸡血石上长而深、明显易见的裂隙，严重影响鸡血石的质量；而纹裂则是指鸡血石上浅而短、隐约可见的裂隙，一般加工后可用黄蜡封住，但对鸡血石的质量仍有较严重的影响。

（四）块度

同等品质下，鸡血石的块度越大，其价值越高。

六、鸡血石的产地简介

鸡血石是中国的特产玉石品种。我国的鸡血石主要产于浙江省临安市昌化区玉岩山至康石岭一带和内蒙古自治区巴林右旗查干沐沦苏木境内的雅玛吐山北侧，矿区总面积只有6km²，共有五个采区，每个采区出产的巴林石有很大的差别。据报道近几年中国湖北、陕西、四川、云南、贵州以及美国等地也发现鸡血石，但质量欠佳。

昌化鸡血石产于侏罗系上统劳村组流纹质晶屑玻屑凝灰岩中，而巴林鸡血石产于侏罗系上统玛尼吐组紫色流纹岩中。昌化鸡血石和巴林鸡血石均产于中生代交代蚀变酸性火山岩的次级断裂小构造中，当沿次级断裂小构造上升的含汞（Hg）的火山热液与流纹岩或流纹质凝灰岩等围岩相互作用时，围岩发生脱硅作用即次生石英岩化，使其中的碱金属或碱土金属淋滤掉，而剩余的铝硅酸盐矿物则转变为迪开石、高岭石或珍珠陶土等。由于热液迪开石或高岭石形成于受限制的空间环境中，因而其结构极为致密，密度较大（2.2～2.5g/cm³），并具有抗水解性。当其中含汞量大于0.5%时，即有微粒状辰砂析出，从而形成质地致密、细腻如玉、

点缀以形态各异的鸡血红色的鸡血石。

七、巴林石

巴林石的物质组分、基本性质与前面所述鸡血石的基本相同。虽然在珠宝玉石国家标准中，没有单给出巴林石玉石名称，但因近年来巴林石在市场占有率逐年提高，作为我国6个国石候选石之一的巴林石自成体系（其他国石候选石为和田玉、岫岩玉、寿山石、青田石、昌化鸡血石），所以本书就其品种和品质评价作一单独介绍。

根据内蒙古自治区人民政府制定的《内蒙古自治区地方标准·巴林石》（DB15/T325-1999），将巴林石定义为："巴林石是天然珠宝玉石，属含水的铝硅酸盐类。以高岭石、迪开石为主的多种矿物组成的黏土岩；产自内蒙古自治区赤峰市巴林右旗。其主要化学成分为Al_2O_3，SiO_2，其次含微量的铁、锰、钛等氧化物，部分含较多的汞的硫化物，摩式硬度为2～4，密度为2.4g/cm³～2.7g/cm³。"巴林石呈乳白、青灰、淡黄灰、浅绿、浅紫、黑褐、黄褐、鸡血红或朱红、杂色等（图3-2-181），呈蜡状光泽、丝绢光泽、玻璃光泽，微透明至半透明。



图3-2-181 各种颜色的巴林石

（一）巴林石的品种

依据巴林石的颜色、质地、结构等从不同的角度分为巴林鸡血石、巴林福黄石、巴林冻石、巴林彩石四类。

1. 巴林鸡血石

凡是含有辰砂矿物的巴林石，不分地、色、质均归此类，血的颜色分为鲜红、朱红、暗红等颜色，呈块状、条带状、星点状分布。血的鲜艳程度、血的形状和质地的透明度，是决定巴林鸡血石质量的三要素。血的颜色应为鲜艳的红色，纯正无暇。颜色偏粉为嫩，颜色偏紫为老；红色鸡血石表面出现黑色闪光呈现金属光泽时，则是在空气中氧化的特征。鸡血分布的状态以条带状为佳，片状次之，散点状又次之。鸡血覆盖面积越大，价值越高。

巴林鸡血石按地的颜色和质地划分为夕阳红、翡翠红、彩霞红、牡丹红、芙蓉红、金银红、水草红、彩练红、三彩红、白玉红、鱼子红、白絮红、金橘红、龙血红、辰砂红、火鸡红、紫云红、水墨红、冰花红、火山红等二十多个品种（见图3-2-182）。

2. 巴林冻石

巴林冻石指含迪开石成分较高，矿物成分交代比较充分，致色元素及杂质较少，具有一定透明度的巴林石，石质似皮冻而得名。在巴林石中，凡透明或半透明、无鸡血、不以黄地为主者均归此类。冻石类是巴林石中品种最多的一类，目前巴林石矿山也以冻石产量最大，此类巴林石分棉性和脆性两种。按照颜色、透明度、构造等分为羊脂冻、桃花冻、玫瑰冻、芙蓉冻、牛角冻、黑旋风、水晶冻、鱼子冻、玛瑙冻、五彩冻、瓜瓤红、羊脑冻、蓝天冻、藕粉冻等几十种（见图3-2-183）。

3. 巴林福黄石

1983年冬，采石班班长刘福发现了一窝黄冻巴林石，其质地与田黄石相比，毫不逊色。后来人们为了纪念刘福的发现，把黄冻命名为福黄，并把它从冻石中分离出来，专门划分为一类。巴林福黄石以硬水铝石为主，含有迪开石，保留矿物自身固有颜色，并渗入少量褐铁矿，矿石整体以黄色为主，呈深黄、浅黄等不同颜色。在巴林石中，凡主体呈黄色且透明或半透明者均归此类，可分为黄中黄、蜜蜡黄、鸡油黄、水淡黄、流沙黄、虎皮黄等二十多个品种。某些品种和田黄极为相近，被称为巴林石中的珍品（见图3-2-184）。



图3-2-182 巴林鸡血石(翡翠红)



图3-2-183 巴林冻石（水晶冻）



图3-2-184 巴林福黄石（黄中黄）

4. 巴林彩石

巴林彩石指因成矿期矿物交代不很充分，致色元素和杂质较多形成的不透明的巴林石，因色彩丰富而得名。此类石种以色彩见长，绚丽多姿，富于情趣，常伴有天然图案。尤其是切割之后，经常会拼凑出千姿百态的图案。彩石类与其他巴林石相比，最明显的区别是地子不透明，最突出的特点是色彩丰富。

巴林彩石的主要品种有石榴红、红花石、黄花石、黑花石另外还有紫云、银地金花、朱砂红、象牙白等（图3-2-185）。



图3-2-185 巴林彩石原石

（二）巴林石的质量评价及品质分级

巴林石的质量评价和品质分级自成体系，比较系统全面，简述如下：

1. 巴林石的质量评价

巴林石的质量评价主要从质地、色泽、工艺、意韵等几个方面来进行。

(1) 质地

即对巴林石质的温润、洁净、细腻程度等级品评鉴定高下。赏石家总结的石质有“六德三贱”，“六德”同于寿山石的细、结、润、腻、温、凝。“细”指质地不粗糙，致密细滑；“结”是指质地不松软，结构紧密；“润”是指质地温润娇嫩不干燥；“腻”是指质地不缺油，光泽明亮；“温”是指质地不死结，内含宝气；“凝”是指质地不浮散，庄重聚集。“三贱”即粗、松、脆。“粗”是指质地粗糙，入手发涩，全无光泽；“松”是指质地不紧密，作印不耐用，轻碰即伤；“脆”是指质地坚硬疏松，易破碎或出现裂纹。

(2) 色泽

即对巴林石的颜色、光泽等品评鉴赏高下。巴林石颜色丰富，赤橙黄绿青蓝紫各色均有。还可以分出基础色、过渡色、交融色、混合色等。在品评巴林石时，鉴赏家们常有“以红黄为贵，蓝绿为绝，五彩为奇”之说。

(3) 工艺

即对巴林石的形状、花纹、图案和加工后的作品等级品评鉴赏高下。鉴赏家鉴赏石艺

有“按材取料，因材施艺，艺有所成”之说，是指巴林石的石艺是“天人合一”的造型艺术，是把巴林石的石质美、色彩美、图案美等充分运用，并通过构图、设计、制作、命名等得以有效升华，从而既不失巴林石天然的魅力和神韵，又增加了其丰富的文化内涵和独特的艺术风格。

2. 巴林石品质分级

（1）巴林鸡血石按品级将其划分为四级。

极品　质地细腻，血色艳丽且极为罕见。血面占全石绝大部分者称为“大红袍”，在一块石头上红、黑、黄（或白）三种颜色匀称分布者称为“刘、关、张”，极为罕见，均属极品。地子为优质冻石的鸡血松枝或鸡血形成的奇艳图案者也属极品。

中品　地子为质地较好的冻石,纯净无杂,无钉无绺；血色鲜红，血面大或血线宽厚，且前后贯穿，血地搭配巧妙浑和；硬度适中，加工后造型美观，极富有光泽者。

中品　地子为质量较好的冻石或彩石,地色与血色反差不大,或画面杂乱,或血的面积较小,或血线不厚或血色不鲜或有少量钉绺,加工后形状尚佳或光泽尚好者可为中品。

下品　地子为较差的冻石或彩石,鸡血不够鲜,或老而发紫,或成小面积点状分布,或加工后无型无光者为下品。

（2）巴林福黄石类可划分为两个品级

极品　即某些书中提到的巴林黄，此矿层非常薄，产量极微，现在已经不再产出，质地与田黄相比毫不逊色，现在的极品福黄石一般都称为鸡油黄。

上品　质地细腻，肌理透明清晰，通体为黄色，隐现纤细的水痕，坚而不脆、软而不松，色泽高贵端庄，形体玲珑剔透者，蜜蜡黄、水淡黄以及其他品种中色泽纯正、图案典型、意境较佳者都可称为上品。其他品种地上虽有黄色，但面积太小，不够纯净，形不成主色，因而划分成其他品种，不属于巴林福黄石。

（3）巴林冻石类可以划分为四个品级

极品　可分为两类：一类是能切出惟妙惟肖的画面，令人拍案叫绝；一类是出现蓝绿颜色，面积大，颜色正。此类冻石均质地纯正、透明度较高、无绺裂、块度适中。

上品　质地细腻，透明度较高，肌理清晰，色泽纯正，浓淡宜人，石质不干不躁，易于受刀，不含钉绺。上品质地非常纯净，不含一点杂质者，如比较典型的水晶冻、玫瑰冻、芙蓉冻、牛角冻、羊脂冻、桃花冻、墨玉冻等。

中品　质地透明度稍差，纹理不够清晰；颜色单一但欠纯正，或颜色多样但欠鲜明；稍含钉绺或有些裂纹但不影响质量，块度有一定的选择余地。

下品　自身品质较差，绺裂较多，透明度较差，颜色不够鲜明。

（4）巴林彩石类划分为四个品级

极品　即彩石中切出画面，画面线条清晰，色泽纯正，形象逼真，质地对色彩衬托得当，块度适中。

上品　一类是自身带有各种线条或斑块者，如满天星、豹子点、红花石、紫云石等。一类是通体是一种颜色，不含其他杂色，或虽然是两种以上的颜色，但颜色之间界线分明，比例协调，而且色泽纯正，硬度适中，没有砂钉，块度适中者。

中品　整体以一种颜色为主，颜色不够纯正，带有其他颜色，而且不成比例，石面略显杂乱，不够协调。

下品　色泽不正，绺裂较多，块度不够者。

第十九节　寿　山　石

寿山石因主要产于福州北郊30余千米的寿山而得名。相传女娲补天余彩石，途经寿山、芙蓉、九峰三山，见这里的山苍郁滴翠、水潋滟清澈，激动之余，遂将补天余石尽撒在这山山水水之间，于是便有了闻名遐迩的寿山石。

历史文献记载和宋墓出土的寿山石俑证实了寿山石的开采至少有1500年以上的历史。南宋时，寿山石矿已大规模开采，经元、明、清发展形成了独立的寿山石雕刻生产行业。寿山石质地晶莹、凝脂如玉、色彩斑斓，享有“细、结、温、润、凝、腻”六德之誉，“上伴帝王将相、中及文人雅士、下亲庶民百姓”。以寿山石制作的印玺在古代就是权力的象征，明清时期的帝、后对寿山石情有独钟，使用寿山石制作印玺，其中田黄自古就有“石中之王”的美誉，寓有“福寿田丰”之意，乃石中极品，乾隆皇帝的田黄“三链章”更是无价之宝（见图3-2-186）。伴随寿山石的不断开采，寿山石雕艺术的不断推陈出新，特别是明清开始文人雅士的介入，寿山石雕融合历史、文学、书画艺术，吸收了佛、道、儒诸家思想，蕴涵着博大的历史文化内涵，形成了独具中华特色的寿山石文化。

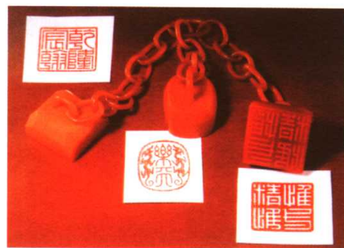


图3-2-186 乾隆田黄三连章

一、寿山石的基本性质

（一）寿山石的矿物组成

寿山石（Larderite）的主要矿物为迪开石、叶蜡石、高岭石、伊利石、珍珠陶土，次要矿物有石英、黄铁矿、硬水铝石、红柱石、绿帘石、绢云母等。寿山石的矿物组成多样化，所以在印石中寿山石的品种最为繁多。

寿山石的质地与其矿物成分有一定的关系。当寿山石完全由迪开石组成时，呈无色或白色，质地细腻、硬度适中；当寿山石完全由叶蜡石组成时，呈白色、淡青色或浅米白色，质地温润、蜡质感很强；当寿山石主要由伊利石组成时，石性不稳定，易脆裂，工艺价值变低；当寿山石中含微晶质石英时，硬度增高，光泽增强；倘若含变余石英斑晶、黄铁矿或红柱石颗粒时，由于它们的硬度远远高于黏土矿物的硬度，不利于雕琢，工艺上称之为“砂钉”，它们的含量越多，工艺价值越低。

（二）寿山石的化学成分

寿山石主要化学成分有：SiO_2、Al_2O_3、FeO、Fe_2O_3、TiO_2，还有少量CaO、MgO、K_2O、Na_2O，以及一些微量元素如Mo、Zn、Cu、Cr、Ni、Co、V、Sn、Pb、Sc等。其中铁的含量多少对其颜色的深浅起决定性作用。

叶蜡石的化学式为$Al_2(Si_4O_{16})(OH)_2$，迪开石、高岭石、珍珠陶土的化学式为$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$；伊利石的化学式为$Al_2(Si_4O_{16})(OH)_2$。

（三）寿山石的结构与构造

1. 结构

寿山石主要呈隐晶质结构、细粒结构、显微鳞片变晶结构，其次为变余凝灰结构、变余角砾结构。

2. 构造

寿山石主要呈致密块状构造，其次为角砾状构造、流纹构造。另外田坑石和某些水坑、山坑石还具有特殊的条纹、网纹构造，俗称“萝卜纹”。所谓“萝卜纹”，是指存在于寿山石内部而非表面，有的纹理清晰明显、有的纹理较细若隐若现。“萝卜纹”是田坑石主要的鉴别特征之一，其颜色有深浅之差，条纹有粗细之别，分布有无序与有序之异。值得注意的是，有些田黄并不具有“萝卜纹”特征，而许多有“萝卜纹”的黄色寿山石并不一定就是田黄。

（四）寿山石的光学性质

1. 颜色

寿山石通常呈白、乳白、黄白、米白、灰白、红、粉红、大红、紫红、深红、褐红、黄、淡黄、金黄、深黄、褐黄、灰黄、绿、浅绿、苹果绿、豆绿、艾绿、黄绿、黄褐、深褐、暗褐、棕、赭、黑、灰、蓝灰、紫和无色等。寿山石色彩丰富，寿山石的颜色主要决定于其矿物组成和色素离子（如铁离子等），一些次生矿成因的寿山独石颜色还受有机质影响，如乌鸦皮田黄的表皮就是受有机质浸染而呈灰黑色。

2. 光泽

由于寿山石的硬度较小、折射率较低，因而光泽较弱，原料呈土状光泽，抛光面一般呈蜡状光泽，部分透明度好者呈蜡状光泽或油脂光泽；若含有一定量的微晶质石英时，其抛光面呈玻璃光泽。

3. 透明度

寿山石呈不透明至亚透明，多呈不透明至微透明，个别“晶地”寿山石近于透明，如水晶冻石和鱼脑冻石等；“冻地”寿山石多呈半透明状，迪开石类寿山石透明度较好，如田坑石类、高山石类寿山石；叶蜡石类寿山石往往透明度相对较差，多为不透明；少量“结晶性”类为半透明。

4. 折射率

迪开石寿山石的折射率为1.56左右（点测法）。

5. 发光性

寿山石在长波紫外光照射下，发弱的乳白色荧光或无荧光等。

6. 吸收光谱

寿山石的吸收光谱不明显。

（五）寿山石的力学性质

1. 密度

寿山石的密度为2.57～2.84g/cm^3。

以高岭石族矿物（包括迪开石、高岭石和珍珠陶土）为主的寿山石密度为2.57～2.67g/cm^3；以伊利石类为主的寿山石密度为2.7～2.8g/cm^{3}之间；以叶蜡石为主要矿物的寿山石密度为2.80～2.84g/cm^3。

2. 硬度

寿山石的摩氏硬度为2～3。

3. 韧度

寿山石具有极致密的结构，因而韧度较高，适宜雕刻。

4. 断口

寿山石断口多呈贝壳状，断面较为光滑。

（六）放大检查

寿山石主要呈隐晶质结构、细粒结构、显微鳞片变晶结构等。另外田黄和某些水坑、山坑石可具有特殊的“萝卜纹”状构造。

（七）特殊光学效应

未见。

二、寿山石的分类、品种和特征

寿山石过去多以产出地的地名或矿洞来命名，如坑头、高山、都成坑、善伯洞、旗降、汶洋、芙蓉、山秀园等；或以产状命名，如田坑（产于田地中）、水坑（浸泡于水中）、山坑（多产于山上）；原生矿型称为“洞采”，而采掘于山坡或田中的次生矿型则称为“掘性”等，共分出100多个品种，十分繁杂。本书根据寿山石的产状、矿物成分结合历史习惯将寿山石分为以下几种类型（见表3-2-7）。

表3-2-7 寿山石主要品种分类表

类别	成因类型	物组成分类	主要品种
田坑石	次生矿型	迪开石类（田黄）	田黄石（包括田黄石、田黄冻石、银裹金田黄石、乌鸦皮田黄石等） 白田石（包括白田石、白田冻石、金裹银白田石等） 红田石（包括橘皮红田石、煨红田石、红田冻石等） 黑田石（包括黑田石、灰田石、黑皮田石等）
水坑石	次生矿型	迪开石类（掘性水坑石）	掘性坑头石（包括掘性坑头石、掘性坑头冻石、掘性坑头晶石等）
	原生矿型	迪开石类（洞采水坑石）	坑头石（包括各色坑头石、坑头冻石、坑头晶石。主要名品有水晶冻石、鱼脑冻石、鳝草冻石、牛角冻石、天蓝冻石、桃花冻石、玛瑙冻石、环冻石等）
山坑石	次生矿型	迪开石类（掘性山坑石）	掘性高山石、鲎箕石、掘性都成坑石、芦荫石、鹿目格石、掘性善伯洞石、掘性金狮峰石、掘性房栊岩石、掘性大山石、掘性旗降石
		叶蜡石类（掘性山坑石）	掘性老岭石、掘性马头岗石、掘性柳坪石、掘性碓下石、牛蛋石、溪蛋石
		伊利石类（掘性山坑石）	掘性连江黄石、掘性山仔濑石
	原生矿型	迪开石类（洞采山坑石）	高山石（包括各色高山石、高山冻石、高山晶石。主要名品有荔枝洞高山石、水洞高山石、太极头高山石、鸡母窝高山石、玛瑙洞高山石、四股四高山石等） 都成坑石（包括各色都成坑石、琪源洞都成坑石、马背石、尼姑楼石、迷翠寮石等） 善伯洞石、善伯尾石、蛇匏石、房栊岩石、金狮峰石、鸡角岭石、黄巢洞石、大山石、旗降石、焓红石等
		叶蜡石类（洞采山坑石）	芙蓉石（包括各色芙蓉石、芙蓉冻石、芙蓉晶石、将军洞芙蓉石、上洞芙蓉石、半山石、竹头窝石、绿若通石等） 汶洋石、山秀园石、党洋石、松坪岭石、老岭石、峨嵋石、猴柴磹石、马头岗石、虎岗石、狮头石、柳坪石、吊笕石、月尾石、方田仔花坑石等
		伊利石类（洞采山坑石）	连江黄石、山仔濑石

按产状和历史习惯寿山石可分为田坑石、水坑石和山坑石。

按其矿物组成寿山石可分为迪开石类寿山石、叶蜡石类寿山石、伊利石类寿山石三大类。其中田坑石、水坑石为迪开石类寿山石；山坑石则三种类型均有。

按成因寿山石又可分为原生和次生两种类型。其中田坑石为次生型；而水坑石、山坑石则原生和次生两种类型均有。

（一）田坑石（田黄）

田坑石的主要品种为田黄(Tian huang)。

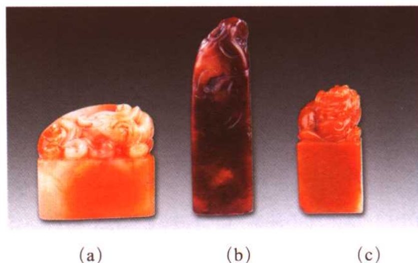
田黄的矿物成分主要为迪开石，可含少量的高岭石、伊利石或珍珠陶土，个别田黄的主要矿物成分为珍珠陶土，含少量迪开石、高岭石、伊利石等矿物。田黄具有一定的磨圆度并常有石皮、红格、萝卜纹等标志。田黄现在主要产于寿山村坑头溪源头至结门潭约8km沿溪两岸水田及河流底部的沙砾层中。

1. 田黄的颜色

田黄的颜色有黄色、白色、红色、黑色等。

（1）黄色

黄色的田黄又称“田黄石”、“田石”，是田石中最常见的品种。田黄石因色黄而得名，表皮多具不透明或微透明淡黄、黄色层，亦有白、黑等色皮层。质地细腻、温润、萝卜纹细密，条理清晰，按色相分为黄金黄、枇杷黄、鸡油黄、桂花黄、橘皮黄、熟栗黄、杏花黄、肥皂黄及桐油黄等多种。其中，以枇杷黄最正，属田黄的标准色；黄金黄色嫩质灵，在强光下金光闪耀，十分高贵，价格也最昂贵（见图3-2-187）。田黄石中有一种外表包裹白色皮层的品种，俗称“银裹金田石”或“银包金”，十分奇特；而对于透明度高、纯洁通灵者称之为“田黄冻石”，晶莹明亮、光彩照人，十分难得。



(a) (b) (c)

图3-2-187 田黄石

(a) 银裹金；(b) 桐油黄；(c) 橘皮黄

（2）白色

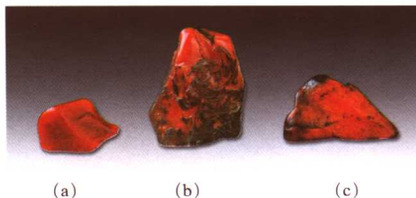
白色的田黄又称为白田石，其色泽很少纯白，多略带微黄或蛋壳青，其萝卜纹明显、细密，红筋、格纹鲜艳（见图3-2-188）。在白田石中有外表全裹黄色层者，别名“金裹银田石”，俗称“金包银”，白田石中质地晶莹通透者称“白田冻石”。



图3-2-188 白田石

（3）红色

红色的田黄又称为“红田石”，俗称“红田”。可分为“橘皮红田石”与“煨红田石”两种。前者为本色，其色红中略带橙黄，如熟透的橘子皮，鲜艳透明（见图3-2-189）；后者为外部原因使田黄成红色的田石，其成因有二：一是埋藏于土中的田石因农民烧草积肥无意中将其煨煅致红，二是人为将田黄置火中烧煅，致使石色转红。



(a) (b) (c)

图3-2-189 红田石

(a) 橘皮红田石；(b) 红田冻石；(c) 煨红田石

(4) 黑色

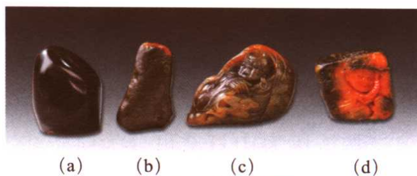

(a)　(b)　(c)　(d)

图 3-2-190 黑田石

(a) 墨田石；(b) 黑皮田石；(c) 灰田石；(d) 黑皮田石

黑色的田黄又称为“黑田石”(见图3-2-190)，有“纯黑田石”、“灰黑田石”和“黑皮田石”等。纯黑田石又称“墨田”，色浓如墨，在强光下略带赭色，质地近似坑头所出牛角冻；灰黑田石指色灰黑，微泛黄意，或原色灰黑，或灰白、白色原矿久埋田中受泥土中炭质或有机物浸染所致；黑皮田石是一种外表包裹黑色皮的田石，浓如纯漆，或全裹、或半裹，厚薄不均，色调变幻。此类田石界于黑田石与黄田石之间，若皮薄而疏者，则仍以里层的石质、色相归类。黑皮田石雕刻成品后，因保留石皮有限，商家通常称之为“乌鸦皮田石”。

2. 田黄的形状

田黄原石均经过搬运、磨蚀作用，而成为自然卵形，一般无明显棱角，质地细腻、温润、手摸有滑感。

3. 田黄的“皮”

大部分田黄都附有石皮，皮有厚薄之分，颜色各异，有黄、白、黑等色，大都为单层皮，少量有两层、三层皮。石皮的形成跟土壤环境、水、化学作用等因素关系密切，在黄土地里产出的田黄往往挂黄皮；白沙层挖掘的田黄多生白皮；而从黑泥田里挖出的田黄就多挂黑皮及乌鸦皮（俗称“乌鸦皮田石”）；已形成黄皮或白皮的田黄，若再次经洪水冲刷搬运沉淀于黑泥中，经若干年炭质或有机质的浸染，外表又会再生成黑皮，而形成了双层或三层皮。根据偏光镜下、扫描电镜和红外光谱分析研究初步获得如下成果。红外光谱分析表明，田黄的皮与肌里的矿物成分完全相同，主要由迪开石组成；从扫描电镜下观察，皮及肌里结构不同，色皮中的迪开石是不规则板状紧密堆积在一起，结构紧密，而田黄肌里的迪开石在扫描镜下为发育较好的片状，局部可见六边形断面的自形到半自形的晶体。

4. 田黄的“萝卜纹”

“萝卜纹”是田黄内部的纹理，大多密而不乱，排列有序（见图3-2-191)。“萝卜纹”是原生的，即田黄形成之前在母矿剥离时就已具备，它是在母矿的成矿过程中形成的。拉曼光谱研究表明，白色萝卜纹除了有迪开石外，含有水铝石；黄色萝卜纹除了有迪开石外，含有微粒黄铁矿和赤铁矿；棕色萝卜纹除了有迪开石外，含有大量微粒的赤铁矿和其他杂质，成分复杂。凡田石中含砂团、多裂痕、色暗质粗者都列为“硬田石”，又称“粗田石”。

5. 田黄的“红格”

“红格”又称为“格纹”，亦叫“红筋”，是田黄中常见的或深或浅的一种红色脉络。其成因是带有裂隙的原生矿石，经外生作用，裂隙逐渐被铁离子染成脉络状所致（见图3-2-192)。



图 3-2-191 田黄中的“萝卜纹”



图 3-2-192 田黄中的“红格”

6. 田黄的产状

根据田黄产出位置的不同，将各种外力作用下如山洪、雨水冲荡或农民耕田等原因出露于地表、不需挖掘即可捡到的“田石”称为“搁溜田石”，福州方言称之“猴流田”；埋藏于溪旁水田中的田石被山洪冲荡而沉积溪底的田石，寿山溪中偶有发现，因旧时在中坂溪管屋附近经常出现，故名“溪管田石”，又称“溪管独石”、“溪坂独石”；掘于寿山广应寺遗址的田黄，这种田黄通常已加工成品，原先被抚玩过，后又埋没土中，受土壤、水分侵蚀，日深月久，古貌盎然，称之为“寺坪田石”。

（二）水坑石

水坑石的矿物成分主要为迪开石，个别水坑石的矿物成分以珍珠陶土为主。因矿脉所处位置水源丰富，或浸入溪涧之中，或呈独立块状散落在坑头溪涧及周边砂土层中，故名水坑石，其下游的田黄多来源于此。水坑石按其成因产状可分为：掘性水坑石和洞采水坑石两类。

1. 掘性水坑石

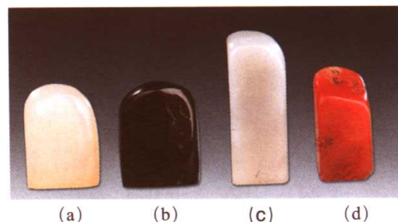
为次生矿型，色多赭黄，或呈棕黄、灰黑、白等色，常裹色皮，亦有“萝卜纹”及红筋与田黄相似，惟常含粉白色斑点，并夹杂金属细砂（黄铁矿），棱角分明等特征与田黄有别，有掘性坑头石、掘性坑头冻石、掘性坑头晶石，质纯净通灵者，俗称“坑头田”（见图3-2-193）。



图 3-2-193 掘性坑头石

2. 洞采水坑石

为原生矿型，色以白、黑两色最常见，间或红、黄等色，质稍坚，多见微透明至半透明，肌里常隐“萝卜纹”、金属细砂（黄铁矿）、水脉纹等特征，质地凝腻或晶莹者分别以坑头冻、坑头晶命名，主要名品有：水晶冻石、鱼脑冻石、鳝草冻石、牛角冻石、桃花冻石、玛瑙冻石、天蓝冻石、冻油石等（见图 3-2-194）。



(a) (b) (c) (d)

图 3-2-194 洞采水坑石

(a) 鱼脑冻石； (b) 黑坑头石； (c) 天蓝冻石； (d) 桃花冻石

（三）山坑石

山坑石是指寿山、月洋等方圆一百多平方千米的各矿区，除田坑石、水坑石外所产出的寿山石。按成因产状亦可分为次生矿型和原生矿型两种，其中，掘性山坑石为次生矿型，洞采山坑石为原生矿型。

1. 掘性山坑石

掘性山坑石是指掘于山坑石矿洞附近山坡或山坳的泥土层或溪中砂砾层中的块状独石。常有石皮、红格等特征。按矿物组成可分为以下几种。

（1）迪开石类掘性山坑石

以高岭石族矿物为主，石质透明度比较好，微透明至半透明。此类石种与田坑石最为相似，其棱角比较分明，石皮不如田黄的皮细润，“萝卜纹”可有可无、或粗或乱；石质不如田黄纯净、温润，多含杂质，色彩丰富，或单色或多色相间。主要品种有：掘性高山石、鲎箕石、掘性都成坑石、鹿目格石、芦荫石、掘性善伯洞石、掘性金狮峰石、掘性大山石、掘性旗降石等（见图3-2-195）。



(a) (b) (c)

图 3-2-195 迪开石类掘性山坑石

(a) 鹿目格石；(b) 掘性都成坑石；(c) 芦荫石

（2）叶蜡石类掘性山坑石

以叶蜡石矿物为主，基本不透明，块度比较大，石皮大多粗糙干涩，石质较粗杂，无萝卜纹，肌里多具花纹、斑点、色格，并含砂钉等杂质。主要品种有：掘性老岭石、掘性柳坪石、掘性马头岗石、掘性碓下石、牛蛋石、溪蛋石等（见图3-2-196）。

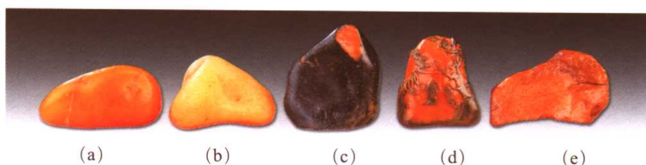

(a)　(b)　(c)　(d)　(e)

图3-2-196 叶蜡石类掘性山坑石

(a)、(b) 溪蛋石；(c)、(d) 牛蛋石；(e) 掘性老岭石

（3）伊利石类掘性山坑石

以伊利石矿物为主，密度为2.7～2.8g/cm³，不透明至微透明；色以黄为主，质坚脆，多色格、裂纹，肌里含带状网纹及细小白色浑点。主要品种有：掘性连江黄石、掘性山仔濑石等。

2. 洞采山坑石

指从坑洞中开采的寿山石，属原生矿，按矿物组成可分为以下几种。

（1）迪开石类洞采山坑石

以高岭石族矿物为主，密度为2.5～2.67g/cm³，石质透明度比较好，微透明至半透明；色彩丰富，有白、黄、红、灰、黑、紫、青、绿等色，石质多细腻、凝结，属山坑石之代表。主要品种有：高山石、都成坑石、善伯洞石、善伯尾石、房栊岩石、金狮峰石、旗降石、大山石、黄巢洞石等。

高山石　色彩以白为主，兼带红、黄、黑等色，肌里常见萝卜纹、灰黑色黄铁矿细点或褐铁矿杂点，质地纯洁，凝腻、晶莹者称“高山冻石”、“高山晶石”。名贵品种有荔枝洞高山石、水洞高山石、太极头高山石等（见图3-2-197）。



图3-2-197 高山石

都成坑石　石质坚硬通灵，色俱五彩，明艳夺人，肌里常见条带状网纹，偶见“花生糕”及不透明黄绿色块（见图3-2-198）。



图3-2-198 都成坑石

善伯洞石　质坚润微，微透明至半透明，肌里多含“金砂地”，色以黄、红为主，兼带白、灰、紫等色，不含萝卜纹（见图3-2-199）。

旗降石　质坚实温润，微透明，富有光泽，色有黄、红、白、紫等色，光彩照人，长年不变，肌里隐含细小花斑结构，不含萝卜纹（见图 3-2-200）。

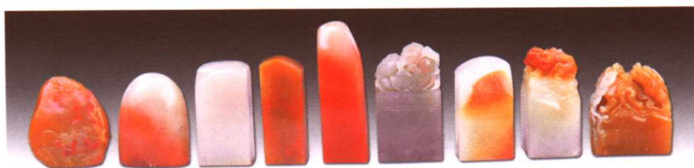


图 3-2-199　善伯洞石



图 3-2-200　旗降石

（2）叶蜡石类洞采山坑石

其矿物组成以叶蜡石为主，相对密度 2.8～2.84g/cm^3，石质蜡感较强，色彩丰富，不透明至半透明，这一系列石种变化最大，有细润凝结、艳丽醉人、名扬四海的芙蓉石，也有粗糙多砂、暗淡斑杂的耐火石。叶蜡石类洞采山坑石的主要品种有：芙蓉石、汶洋石、山秀园石、松柏岭石、月尾石、竹头窝石、绿若通石、峨嵋石、柳坪石、马头岗石、碓下黄石、老岭石、方田仔花坑石等。

芙蓉石　是石之精华，也称"石中君子"。色洁质嫩，白、黄、红、绿、青、黑、紫，各色皆俱，浓淡变幻，白若脂玉，红似丹烛，或纯洁素雅、或娇艳夺目、或五彩斑斓、或青翠欲滴，肌内常有不透明粉白色绵砂团块为其特征（见图 3-2-201）。

汶洋石　多白色，间有黄色层，偶含红、黑等色，色相较单一，黄色层多为薄层贴于白色矿体上，欠脂润，石质细嫩，蜡感较强，与芙蓉石相近，肌里常含白色斑点为其特征（见图 3-2-202）。



图 3-2-201　芙蓉石

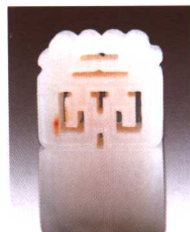


图 3-2-202　汶洋石

山秀园石　常见紫红、紫、白、黑各色呈条带状包裹，色彩纹理层次分明，别具特色，多为不透明，部分凝腻半透明者与芙蓉石极为相似，惟肌里含小米粒状黄色砂钉为特征（见图 3-2-203）。

月尾石　石质细洁，富有光泽，色彩特别，有不透明紫色、紫红色，亦有微透明至半透明的绿、灰绿等色，或明翠如玉，或苍翠如老艾之叶（见图 3-2-204）。



图 3-2-203　山秀园石

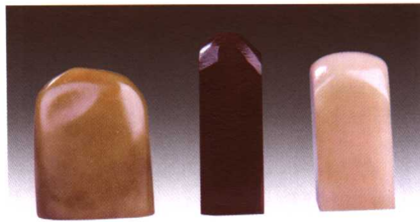


图 3-2-204　月尾石

（3）伊利石类洞采山坑石

以伊利石矿物为主，密度为2.7～2.8g/cm³，不透明至微透明，以黄、白为主，质坚脆，多色格、裂纹，肌里多含细小白色浑点，内含不规则条带网纹。伊利石型洞采山坑石主要品种有：连江黄石、山仔濑石等。

连江黄石　以黄色为主，多杏花、藤黄、褐黄等。

山仔濑石　多见黄、白色，间带红、黑等色，石质与连江黄石相近，多含砂团。

三、寿山石与相似玉石（印石）的鉴别

外观上与寿山石相似的印石有青田石、鸡血石、滑石等。

（一）寿山石与青田石的区别

青田石的矿物成分以叶蜡石为主，多为不透明至微透明，颜色以黄、绿、紫相间为主，青田石以原生矿为主，无石皮；寿山石色彩丰富，各色俱备，矿物组成多样，有田坑、水坑、山坑之分。青田石中的冻石与寿山石中的高山石很类似，惟不含萝卜纹。

（二）寿山石与鸡血石的区别

昌化、巴林鸡血石常含一定量的鲜红色的辰砂，基本为原生矿，无石皮。而寿山石中田坑与掘性山坑为次生矿型，有黄、黑、白等石皮，呈自然块状，而且寿山石中几乎不含辰砂矿物。鸡血石一般无萝卜纹、红格纹，而寿山石中许多品种都具萝卜纹、红格纹等特征。

（三）寿山石与滑石的区别

滑石的结晶颗粒较粗，为细粒至粗粒结构；而寿山石的矿物结晶颗粒极细小，多为隐晶微粒结构。滑石颜色多呈白、绿、青和红、灰白、黄、淡紫、粉红等色，较鲜艳，滑石光泽较寿山石强，多呈油脂光泽至珍珠光泽；而寿山石一般呈蜡状光泽或玻璃光泽。滑石质地柔软，硬度很低，仅为1.5～2.5，易被指甲划伤；而寿山石的硬度稍高，为2～3左右，不易被指甲划伤。滑石的石性较松脆，质地柔软具油脂感或肥皂感，滑感较寿山石强；而寿山石的韧性比滑石好，粉末较滑石的粉末粗糙干涩。

（四）仿造田黄及其鉴别

半透明至近于透明的浅黄色塑料常被用来仿田黄，其鉴别特征如下。

1. 个体大小

天然田黄大于30g者，谓之成材；400～500g者，已不多见；大于1000g者，更为罕见，若同时见几块这样巨大的田黄，就应考虑是否为真货。

2. 外观特征

仿田黄无石皮，黄色稍深，十分均匀，自然，且黄色内外一致；而天然田黄有石皮，黄色有深浅浓淡之分，黄色较均匀，十分自然。

3. 内部特征

仿田黄无萝卜纹、红格纹或红筋，透明度均匀一致，且黄色内外一致；而天然田黄有萝卜纹、红格纹或红筋，透明度不很均匀，且黄色外浓内淡。

4. 粉末特征

仿田黄用小刀刮，起毛刺，用小刀削，呈片状；而天然田黄，用小刀刮之呈粉末状脱落。

5. 密度

仿田黄的密度很低，因它是塑料；而天然田黄的密度稍大，因它是由迪开石组成。用手掂重，模仿田黄有轻飘之感；而天然田黄则给人沉坠之感。

6. 加热试验

用电炉或酒精灯对样石进行加热，随着温度的上升，若样品软化、变形、熔融甚至烧焦，说明是仿田黄；若无反应则说明是天然田黄。另外，用热针触及样品，若地无反应，说明是天然田黄；若地软化和冒白烟，则说明是仿田黄。

7. 热感

仿田黄贴于面部有温感；而天然田黄则给人“冰凉透心”之感。

四、寿山石的优化处理及鉴别

寿山石的优化处理方法有烟处理、染色处理、做皮处理、拼合处理等。

（一）烟处理

1. “煨乌”黑田石及其鉴别特征

“煨乌”处理是将一般的高山石、坑头石或它们的雕件细坯表面或涂上油或不涂油，置于燃烧着稻糠壳的炉火中，恒温300℃左右、约12～20小时，用稻糠壳燃烧所产生的烟，把石雕表面熏染成黑色。在此过程中，石中的水分已失，退火后，必须进行“回湿”处理，即将它放在阴暗潮湿的泥土地上约2～3h，最后进行“修光”处理，即制成“黑田”或“乌鸦皮”（见图3-2-205），其鉴别特征如下。



图3-2-205 “煨乌”黑田石

（1）颜色

“煨乌”黑田石的表皮颜色漆黑、均匀，且分布完整；而天然黑田石呈黑色或灰黑色，并有深浅浓淡的变化，且纯黑中常带赭色色调；黑皮田常有黑色未完全覆盖石雕表面的现象。

（2）光泽

“煨乌”黑田石，虽然其表面光泽有所增强，近于玻璃光泽，但给人以干涩呆板之感；而天然黑田，其表面光泽柔和，主要呈蜡状光泽，并给人自然油润之感。

（3）石皮

“煨乌”黑田石，其表面仅有一黑色石皮，色彩单一，皮质干燥。黑色皮层厚薄不均，不堪雕刻，修光过程中，必须小心谨慎，否则会出现“开窗”的现象（漏出原色），更不能改形重雕；而天然黑田石皮质细嫩，皮层厚度均匀，有色彩浓淡变化。

（4）透明度

“煨乌”黑田石透明度较差，一般为不透明或微透明，而天然黑田石为微透明至半透明。

（5）加工性能

“煨乌”黑田石选用的是一般山坑石，即使选用的是坑头冻石或高山冻石，爆烧后石质也会变得干燥，石性更坚硬酥脆，裂纹增多，难以雕刻；而天然黑田石的石质细腻滋润，性绵，裂少，十分奏刀。

2. “熏烟”寿山石及其鉴别特征

熏烟处理是将寿山石成品在燃烧着的稻糠壳或竹蕊线香之上，支一铁架子，并放上石棉网，将色暗质粗的寿山石雕件置于石棉网上，不断翻动样品，让稻糠壳燃烧所产生的烟雾均

匀地熏染石雕表面，并用毛刷轻抹其表面，使烟油分布均匀。经熏烟处理后的寿山石色泽古旧。其鉴别特征如下。

（1）石色

熏烟寿山石的颜色灰暗而单调，主要呈灰黄、浅灰和黑灰色等；而天然寿山石各色俱全，或淡雅或娇艳。

（2）石质

熏烟寿山石一般较粗糙、性脆；而天然寿山石粗糙、细润皆有，性脆或性绵。

（二）染色处理

1. “煅红”寿山石及其鉴别特征



图 3-2-206 “煅红”寿山石

“煅红”处理是将黄、橙和红色寿山石石雕的细坯，或将白色及其他浅色寿山石石雕细坯浸泡于硝酸亚铁溶液中，取出干燥后，置于稻糠壳炉火或电热箱中，恒温300℃左右、约12～30h，使寿山石中的二价铁离子（Fe^{2+}）氧化成三价铁离子（Fe^{3+}）。这样，原来的黄、橙色及经浸泡处理的白色和其他浅色转变为红赭色；原来的红色及经浸泡处理的白色和其他浅色者转变为浓赭色。在“煅红”过程中，石中的水分蒸发，退火后，必须进行“回湿”处理，最后进行“修光”处理（见图3-2-206）。

（1）颜色

“煅红”寿山石的表皮颜色黑、红，质地多为橙红色，色彩单一；而天然红色寿山石有纯红、朱砂红、玛瑙红和橘皮红等色，可含有其他色斑、色块或色团。

（2）光泽

“煅红”寿山石表面光亮如玻璃，但干涩刺眼；而天然红色寿山石表面光亮度适中，蜡状光泽，柔和自然。

（3）石皮厚度

“煅红”寿山石，其表面常有一黑色石皮，石皮较干涩；天然红色寿山石的石皮较为细润。

（4）透明度

“煅红”寿山石一般不透明；而天然红色寿山石，不透明至亚透明，多呈微透明至半透明。

（5）加工性能

“煅红”寿山石选用的是粗质山坑石，煨煅后，石性当然更硬脆，裂纹增多，雕刻难度大；而天然红色寿山石的石质较细腻滋润，性绵，裂少，容易雕刻。

2. “罩染”寿山石及其鉴别特征

“罩染”处理是将寿山石成品置于高锰酸钾等溶液中染色处理，以仿制田黄石（见图3-2-207）。其鉴别特征如下。

“罩染”仿古寿山石的颜色较深且均匀，不自然，主要呈古铜、枣红、墨绿、暗红和紫檀色；而真古寿山石的颜色深浅均有，各色俱全，颜色分布并不十分均匀，可含色点、色斑、色块或色团，且自然柔和。染色仿古寿山石的裂隙和棱角处颜色深，因染料主要沉淀于裂隙和棱角部位所致；而真古寿山石却无此现象。



图 3-2-207 染色田黄

（三）“做皮”处理

1. 蒸煮法染色做皮寿山石及其鉴别特征

蒸煮法染色做皮处理是指将色黄质佳的高山石、都成坑石和连江黄等山坑石，打磨成卵圆形，然后置于杏子水等颜料中蒸煮，取出冷却后，外表再涂一层黄色石皮，主要仿制“田黄”原石。其鉴别特征如下。

（1）颜色

染色石皮，表面有擦痕，黄色深而不自然，且裂隙及孔洞中黄色颜料沉淀集中；而天然石皮，表面细滑，色泽柔和，黄色并不十分均匀，非常自然。

（2）化学试剂检查

染色石皮用棉球沾丙酮擦拭，棉球上有黄色；而天然石皮用棉球沾丙酮擦拭，棉球上无色。

（3）刻削

染色石皮用小刀刮削，石粉呈黄色；而天然石皮用小刀刮削，石粉呈白色。

（4）石质

在强光照射下，染色“田黄”的石质较干燥，无萝卜纹或萝卜纹粗乱；而天然田黄的石质细嫩，隐现细密萝卜纹。

2. “染涂做皮”寿山石及其鉴别特征

染涂做皮处理是将黄色寿山石如连江黄、黄高山石、黄都成坑石等山坑石，打磨成鹅卵石形，将黄色石粉与环氧树脂混合调匀，涂染于其表面，待干燥后，再进行工艺处理，制成假石皮，冒充“田黄”。其鉴别特征如下。

（1）石色

涂染石皮，黄色深，光泽异样，且不自然；而天然石皮，色泽柔和，黄色并不十分均匀，非常自然。

（2）表面特征

涂染石皮表面有擦痕，给人粗糙之感；而天然石皮表面有滑感，给人细润之感。

（3）石粉

涂染石皮用小刀刮削，石粉呈黄色；而天然石皮用小刀刮削，石粉呈白色。

（4）石质

在强光照射下，涂染“田黄”的石质较干燥，无萝卜纹或萝卜纹粗乱；而天然田黄的石质细嫩，萝卜纹细密。

（四）拼合寿山石及其鉴别

拼合处理有拼接和镶嵌两种方法。所谓“拼接寿山石”是指将具有相同质地的若干小块寿山石特别是田黄碎块，黏合连接成大块毛石，在接合部位进行工艺处理，即雕刻薄意，以掩饰拼接痕迹；“镶嵌寿山石”是指将寿山石，特别是田黄中质粗或含杂质的部分剔除，用质优的寿山石或田黄片镶嵌贴补，以充上好的寿山石或田黄。其鉴别特征如下。

（1）接合部特征

对于寿山石摆件、雕件或大块毛石，应仔细观察其转折处是否有低洼或凹陷存在，若有，则可能是拼接或镶嵌的寿山石。用烧热的缝衣针触及低洼或凹陷部位，若出现粘胶熔融或冒白烟，说明是拼接或镶嵌的寿山石。

（2）红格纹特征

在强光照射下，若寿山石一部分肌里的红格纹（断裂）发育，连绵不断；另一部分肌里

没有红格纹，或两种红格纹特征相差很大，则说明可能是拼接或镶嵌的寿山石。

（3）“萝卜纹”特征

在强光照射下，若寿山石肌里的萝卜纹粗细较一致，分布较均匀，错落有致、连续不断，说明是真寿山石；若萝卜纹粗细悬殊、分布不均匀，且萝卜纹有断开现象，则说明可能是拼接或镶嵌的寿山石。

五、寿山石的质量评价

寿山石的质量评价主要从质地、颜色、净度和块度四个方面进行。

高品质的寿山石的质地细腻，透明度高；色泽鲜艳，花纹图案清晰美观，无裂纹和砂钉等石病；有一定大小的块度，且抛光度良好（见图 3-2-208）。

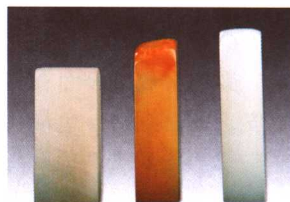


图 3-2-208　荔枝洞高山石

（一）质地

寿山石若具备细、洁、润、腻、温、凝六德，称得上“极品”，若石质粗糙、不透明，则失宝石之用。

细　就是矿物颗粒很细小（田黄石中的迪开石晶体大小约为 2～5μm），质地细腻。

洁　就是指矿物颗粒结合紧密，晶体排列有序度好，光泽好，手摸有滑感。

润　是指石内生泉，在手里握一会，石上就布满细小的水珠，有如露之欲滴。

腻　是指肌里油溢用手稍加摩挲，就像往外冒油一样，有如油之欲滴。

温　是指如玉之温，蕴涵宝气。

凝　就是晶莹剔透，有一种通灵感。

寿山石根据石质的粗细程度、透明度好坏、石性纯洁与否分为三级。一级，石质细腻温润，亚透明至半透明，石性纯洁的晶冻；二级，石质较细腻温润，半透明至微透明，石性较纯洁者；三级，石质不够细润，微透明至不透明，石性不够纯洁者。各色寿山石，透明度好，蜡状光泽或油脂光泽，有滑腻感，工艺上称之为“润”或“透”；而白色或灰色的寿山石，不透明，无光泽，无油性，则称为“燥”。

（二）颜色

寿山石以色泽鲜艳纯正为佳。寿山石有单色和杂色之分，并以单色为佳。以田坑石为例，田坑石中以黄田石最普遍，红田石最珍奇，白田石最罕见，而黑田石多粗杂。黄田石以黄金黄为佳，红田石以橘皮红或丹枣红为最上品，白田石以纯白为好，而黑田石则以纯黑为妙。然而，红田石的产量比黄田石更稀少。

鉴别寿山石的色泽，特别是评价晶地、冻地寿山石的色泽，最好在晴天室内的自然光下或宝石灯下，利用漫射光观察，否则会给人造成视觉误差，从而导致严重的经济损失。

（三）净度

净度是指寿山石所含瑕疵的程度。瑕疵有“格”和杂质两类。

“格”为愈合裂隙，并有“粉格”、“色格”和“震格”之分。“粉格”，俗称“黄土格”，寿山石因地质作用而产生的较大原生裂纹，后被黄色砂土等杂质充填而成；“色格”，寿山石因地质作用而产生的细小原生裂纹，后被铁质等杂质充填而成，且多呈暗红色，故名“红格”；“震格”，寿山石在开采或搬运过程中，因震动而形成的隐裂，很难发现，可用清水或油脂进

行检查，若有类似瓷釉上的微细裂痕或遇有水痕湿现处，即为“震格”之所在。

杂质又称为“砂隔”，有“绵砂”、“砂钉”和“砂团”之别。“绵砂”，为寿山石中未完全迪开石或叶蜡石化的部分，硬度较低（$H_M<3$），呈筋络状或不规则团块状散布于其中，雕刻时不必清除，偶可作俏色利用；“砂钉”，是指夹杂于寿山石中的石英细砂粒或金属微粒（黄铁矿等），硬度高（H_M=6～7），很难受刀，雕刻时必须剔除；“砂团”，为寿山石中成团成片、质坚色杂的砂质，雕刻时整块凿除，偶可巧妙利用。

寿山石以纯净无瑕、无裂纹、无砂钉为佳。根据含瑕疵的程度分为三级：一级，纯净无瑕、无裂纹、无杂质；二级，少瑕，即偶见裂纹，含少量杂质；三级，多瑕，即常见裂纹，含较多杂质。

（四）块度

寿山石的块度越大越好，一般要求能雕刻一方印章即可。田坑石的体积一般不大，30g谓之成材；250g为大型材；500g以上为超级型材，堪称王中之王，乃稀世奇珍，十分罕见。

六、寿山石的产地简介

寿山石主要产于福建省福州市北郊的寿山、日溪、宦溪乡镇的山村之间，方圆一百多平方千米，位于寿山 — 峨嵋火山喷发盆地之中，盆地基底地层为流纹质凝灰熔岩，盆地内下段以沉积火山碎屑岩为主，包括晶屑凝灰岩、粉砂岩、角砾熔结凝灰岩，上段为凝灰熔岩、熔结凝灰岩等。区内北东、北西两组区域性断裂构造发育，特别是两组构造线交汇部位控制了火山通道的分布，这种线性构造，表现在旗山—猴柴磹—旗降、老岭—松柏岭—山秀园和高山—善伯洞—金狮公山—金山顶，发育三条北东向断裂构造；虎口—金狮公山和高山—加良山发育两条北西向断裂构造，其分布具有等距离性和网格性特点，断裂构造控制寿山石矿点成带状分布。

寿山石的原生矿是内生成矿作用形成的，由于成矿方式不同，具体可分为热液交代型、热液充填型及热液交代—充填型。热液交代型，主要分布在加良山、老岭、猴柴磹、柳坪、旗山、山秀园等，矿体多呈层状，其次为不规则脉状、团块状、透镜状，矿物组成以叶蜡石为主，次为硬水铝石、石英、绢云母、高岭石、迪开石。矿石中常见交代残余结构，大多数为中低档寿山石，中高档寿山石约占5%～10%；热液充填型，主要分布在高山、都成坑，其余矿点为零星产出，矿体呈脉状产出，矿物组成以迪开石为主，质地细腻、色泽艳丽、透明度好，为典型的寿山石特征，是中高档寿山石雕刻原料的来源；热液交代—充填型，主要分布在善伯洞、月尾、大山、旗降、二号矿、房栊岩等，成矿方式复杂，主要为热液交代—充填型，矿体以脉状、透镜状产出，矿物组成多以迪开石、高岭石矿物为主，部分为叶蜡石、伊利石。

寿山石中的次生矿是外生成矿作用形成的，地下寿山石矿脉在地壳运动下暴露地表，经剥蚀、搬运、埋藏，再经物理、化学风化形成。这种外生作用形成的次生矿型寿山石有掘性山坑石、掘性水坑石和田坑石三种。掘性山坑石是矿石从母体原生矿剥离后滚落于山坡或山坳，并埋藏于泥土层中，因剥蚀搬运距离短，形成独石后其棱角相对明显。田坑石因经水流搬运作用，搬运距离远，物理化学风化作用比较彻底，在溪流的某些地段沉积后，长期受含腐质酸等水分的浸泡，水化学作用十分明显，所以田黄的石形多呈浑圆状，质地纯净细腻，温润可人。

第二十节　青　田　石

青田石因产于浙江省青田县境内而得名，为中国历史上著名的印章和玉雕材料之一，至今已有1600多年的历史。青田石质地温润，色彩斑斓、花纹奇特，硬度适中，是中国篆刻艺术应用最早、应用最广泛的印材之一。青田石与寿山石、昌化石、巴林石并称为“中国四大名石”。

一、青田石的基本性质

（一）矿物组成

青田石的主要矿物成分为叶蜡石、迪开石、高岭石以及伊利石和绢云母等，次要矿物有石英、高岭石、蒙托石、红柱石、矽线石、刚玉等。

（二）化学成分

青田石（Qingtian Stone）的主要化学成分为Al_2O_3及SiO_2，含有少量K、Mn、Ti、Fe^{2+}和Fe^{3+}等元素，为多种矿物集合体，其中叶蜡石的化学式为$Al_2(Si_4O_{16})(OH)_2$，迪开石、高岭石的化学式为$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$，伊利石的化学式为$Al_2(Si_4O_{16})(OH)_2$，绢云母的化学式为$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$。

微量元素影响青田石的颜色，如含氧化铁、黄铁矿呈黄、棕黄色；含赤铁矿呈红、红褐色；含钛元素呈淡红色；含锰元素呈紫色。

（三）结构构造

1. 结构

青田石的特征具显微鳞片变晶结构、团粒结构、放射球粒状结构 、不规则的放射纤维状结构。在扫描电镜下观察，迪开石呈假六方板状或他形粒状，结晶颗粒细小，结构致密，为鳞片状集合体；红柱石、刚玉、蓝线石、磷灰石、石英等矿物呈颗粒状分布于叶蜡石或迪开石基质中。

2. 构造

青田石主要呈块状、条纹状、条带状、球状等构造。

（四）光学性质

1. 颜色

青田石的主要颜色有青白、浅绿、浅黄、黄绿、淡黄、紫蓝、深蓝、灰紫、粉红、灰白、灰、白等颜色。青田石的石色与所含的微量元素有关，如氧化铁、黄铁矿呈黄、棕黄色，赤铁矿呈红、红褐色，钛元素呈淡红色，锰元素呈紫色，有机碳质呈褐色、深黑色，绿泥石混入呈绿色等。青田石中花纹是在矿床侵蚀过程中受外力的挤压、聚集、沉淀、浸入，而使各种色素矿物质相互浸染、压固、胶结等形成的。次要矿物对青田石颜色的影响也较大，如含有刚玉则呈深蓝色或浅蓝色，含红柱石呈粉色或肉红色，含



图 3-2-209 各种颜色的青田石

蓝线石呈淡蓝色或紫罗兰等颜色（见图3-2-209）。

2. 光泽

蜡状光泽、玻璃光泽、油脂光泽，块状呈油脂光泽。

3. 透明度

不透明至半透明，少数透明。

4. 折射率及双折射率

1.53～1.60，双折射率无。

5. 光性特征

非均质集合体。

6. 多色性

无。

7. 发光性

紫外荧光不特征。

8. 吸收光谱

不特征。

（五）青田石的力学性质

1. 密度

青田石的密度为2.65～2.9g/cm^3，密度因内部含有的细小矿物颗粒种类的不同、含量的多少而变化。

2. 硬度

青田石的摩氏硬度为1～1.5，硬度较低。青田石的硬度受矿物成分变化的影响，一般氧化铝含量越高越软，反之氧化硅、氧化铁含量越高质地越硬。纯叶蜡石型的青田石，石质细腻，硬度适中，颜色以淡青、浅黄色为主，属高档雕刻石；高硅质叶蜡石型，石质较粗，硬度较大。

3. 韧度

青田石的韧度较高，适于雕刻。

（六）放大检查

致密块状，可含有蓝色、白色等斑点。

（七）特殊光学效应

无。

二、青田石的分类及主要品种

青田石的质地、色泽、纹理千差万别，青田石的品种长期以来以其产出坑口命名，每个坑口见诸文字的记载也不统一，少则二十多种，多则一百多种，以其颜色质地的形象描述来命名，极其繁杂，现简单归纳如下。

（一）根据主要矿物成分分类

青田石可分为叶蜡石型和非叶蜡石型两类，其中叶蜡石型青田石占大多数。

1. 叶蜡石型

叶蜡石型青田石以封门青为代表。

2. 非叶蜡石型

其中又可分为迪开石型、伊利石型和绢云母型。

迪开石型青田石　以“冰花灯光冻”为代表，透明度高于叶蜡石型青田石，质地细腻，是一种优质的雕刻石。

伊利石型青田石　以“竹叶青”和部分“龙蛋石”品种为代表，因含有层间水，所以脱水的情况下会出现脆裂现象。但少数品种由于颗粒度细小、结构致密，具有温润细腻的质地，是一种较为稀少的青田石品种。

绢云母型青田石　以“山炮绿”为代表，性质比较稳定。非叶蜡石型青田石组成矿物的有序度、铝元素的质量分数、水的存在与否、晶体的颗粒度等是影响其质量的重要因素。

（二）根据色泽、矿物共生组合、矿石结构构造等分类

可将青田石分为4种类型：

1. 单色青田石

呈青白、乳白、紫、灰紫等色，具油脂光泽或土状光泽，由叶蜡石、绢云母或叶蜡石化凝灰岩等组成，为玉雕材料的主要矿石类型。

2. 杂色青田石

常呈条带状，由浅色及深灰色组成，当矿石中含铁时则出现美丽的红色“云雾”，为玉雕材料的重要矿物类型。

3. 刚玉质或蓝线石质青田石

叶蜡石呈浅灰色，刚玉则呈深蓝色斑点镶嵌其间，称为“蓝花丁”。蓝线石呈团块状、线状分布在青田石内，俗称为“蓝星”。

4. 红柱石质青田石

叶蜡石呈浅色，红柱石则呈斑点分布于其间，或组成条带分布于浅色叶蜡石中。

（三）按色泽、透明度、质地等方面的差异分类

1. 普通青田石

指颜色鲜艳、光泽强、质地致密细腻、透明度差的青田石，其中按颜色的不同又可分为白青田、绿青田、蓝青田、黄青田、紫青田、红青田、灰青田等品种。

2. 青田冻石

颜色丰富、鲜艳，玻璃光泽强，透明度好，光洁如玉，富含Al_2O_3，质稍软，最为珍贵。工艺美术上按色泽、纹理、透明度、质地的不同常分为20多个品种，有灯光冻、鱼脑冻、紫檀冻、红花冻、松皮冻、酱油冻、橘黄冻、菊花冻等。

（四）青田石的主要品种

1. 封门青

因产于青田县封门山而得名（见图3-2-210）。质地细腻、透明度高，而且像竹叶一样翠绿，明润如淡色碧玉，肌理常隐现有白色、浅黄色线纹。

2. 灯光冻

又名“灯明石”，颜色微黄，纯净，在灯光照射下半透明至透明，质地细密似牛角，产于

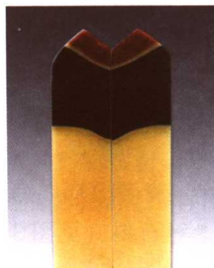
青田县的图书山（见图 3-2-211）。

3. 封门三彩

以黑色为主色调，上有酱油冻，两色间往往有一封门青薄层。有时也有黑、青、黄、棕、蓝多色或仅有两种颜色。色彩鲜明，质地细润，是选作俏色印章和精雕的名贵石料（见图 3-2-212）。


图 3-2-210 封门青


图 3-2-211 灯光冻


图 3-2-212 封门三彩

4. 黄金耀

黄色艳丽妩媚，质地纯净细洁，温润脆软，为最好的黄色青田石（见图 3-2-213）。

5. 龙蛋

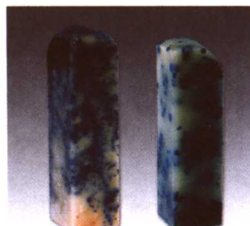
俗称卵岩，独块赋存于紫色硬岩中，小如蛋，大似瓜，外有深棕色薄壳，壳中的黄、青色块料，质地细腻洁润，非常奇特珍贵（见图 3-2-214）。

6. 蓝星

又名蓝星青田，在青色、黄色石料上有蓝色星点状矿物，其外观和蓝花钉青田石非常相近，蓝色矿物为蓝线石，质地较软（见图 3-2-215）。


图 3-2-213 黄金耀


图 3-2-214 龙蛋


图 3-2-215 蓝星

7. 五彩冻

一块黑色石料上，有红、黄、绿、紫、白等颜色，绚丽多彩，细润通灵，质老，不易风化。现已基本停采（见图 3-2-216）。

8. 紫檀花冻

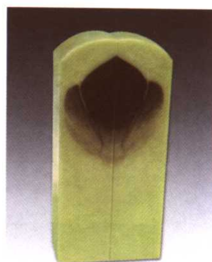
地子为紫檀色或红木色，上有青色或黄色冻质花纹、斑块，分布较散杂，质地细润（见图 3-2-217）。

9. 白果

封门所产的一种色白微青黄、质细不透明的石料，极似煮熟的白果，色彩匀净，质地细密，行刀脆爽（见图 3-2-218）。


图 3-2-216 五彩冻


图 3-2-217 紫檀花冻


图 3-2-218 白果

10. 金玉冻

有青黄两色，青者温润明净，黄者通灵光洁，两色对比柔和，过渡自然，质地细腻微冻，是雕刻精品的上等石料（见图 3-2-219）。

11. 山炮绿

颜色似翡翠，十分艳丽，又称翡翠青田。质地微冻，性坚而脆，肌理有许多白色的麻点、黄色斑纹和硬砂块，多裂纹，纯净者稀少（见图 3-2-220）。

12. 冰花冻

青色微黄，似冰如冻，清晰可见内含的白色斑纹，是山口一带最透明的青田石（见图 3-2-221）。


图 3-2-219 金玉冻


图 3-2-220 山炮绿


图 3-2-221 冰花冻

13. 葡萄冻

质地深紫色，上有圆形青白色冻点，状似一颗颗葡萄，石质细润，产于季山、周村（见图 3-2-222）。

14. 红木冻

红木色，石料中常夹生青白色条状冻石。质地细腻，色调典雅，光泽特好，料少名贵（见图 3-2-223）。


图 3-2-222 葡萄冻


图 3-2-223 红木冻

三、青田石与相似玉石的鉴别

（一）青田石与寿山石的区别

青田石一般呈典型的蜡状光泽；而寿山石呈弱的蜡状光泽。青田石的结晶颗粒较粗，呈片状，定向排列，所形成的集合体质粗地燥；而寿山石的结晶颗粒很细，他形粒状，镶嵌分布，紧密堆积，所形成的集合体温润细腻、犹如胶冻。青田石的断口较粗，有片状走向感；而寿山石的断口细腻，无定向感。青田石敲击易裂开，硬度很低，仅为1～1.5，容易被指甲划伤；而寿山石性韧，硬度稍高，为2～3，较难被指甲划伤。

外观上青田石性坚，结实，但没有寿山石脂润。青田石中的“灯光冻”，颜色微黄，纯洁、半透明、质地细密与寿山石中寿山坑头冻石很相似。但青田石的矿物成分以叶蜡石为主，与以迪开石为主要成分的寿山坑头石相比较，两者在质地上还是有区别的，即青田石无萝卜纹。

（二）青田石与巴林石的区别

巴林石的矿物成分以迪开石为主，常含辰砂而成巴林鸡血石，质地通常好于青田石。青田石矿物成分以叶蜡石为主，色彩丰富，但不含辰砂。

四、青田石的优化处理

青田石的常见优化处理方法主要见于章料，有拼贴法、模压法、嵌补法。

（一）拼贴法

拼贴法目前主要是用于仿封门青的章料。方法是将封门青石料切成薄片，然后用对角拼接工艺拼贴于普通方章的六个面。此种仿制章料应仔细检验对角线，从中寻找拼接的蛛丝马迹。

（二）模压法

模压法目前主要是用于仿封门青的章料和龙蛋。

1. 仿封门青的章料

方法是用封门青石料添加颜料拌胶水压制而成。此种仿制品外观上色彩纯净，无裂纹，无杂质，微透明，体积大，十分诱人。识别的方法可用一摸二听三看四试的方法鉴别。一摸：用手摸天然石章感觉冰冷，而仿制石章易暖；二听：用手指弹，天然石章音比较沉，仿制石章音脆；三看：对着强光，天然石章边缘有透明感，至厚实处影调变化自然；仿制石章为增加重量，在章体内埋有铁条，隐约可见；四试：用刀刻仿制章，如同刻塑料制品，刀下无白色粉末，仅见一条卷曲的细丝。

2. 仿龙蛋

方法是将龙蛋样品翻成模具，再用石粉、颜料树脂调配出深褐色，青色充填料，分别灌入不同部位，加压、震动、翻模，形成有深色“蛋壳”和青色物像的雕刻品。这类仿制品粗看色彩鲜艳分明，雕刻工艺尚可，有一定的观赏性。识别方法主要靠观察，即色彩过于鲜艳，不自然。一般是用做20cm左右的中小件人物作品，具有复制性。若发现有两件造型相同的作品，即属此类。另外雕刻品的线条不够清晰，用刀在作品底部试刻即可鉴别。

（三）嵌补法

取质地较好的蓝星方章或随形章，钻些大小不一的浅洞，然后用树胶调和蓝色颜料，再嵌入洞内，待干燥后打光上蜡。这种仿制章外观上蓝点鲜密，质地也不错。但是，蓝点的形状过圆，

分布呆板，缺少自然感，同时色点浮露，缺少隐现的丰富层次，因此只要仔细观察即可辨认。

五、青田石的质量评价

青田石的原料的质量评价可以从颜色、质地、净度、块度等方面进行评价。

品质好的青田石要求颜色艳丽均一，光泽强，质地细（细腻）、冻（透明度好）、实（结实少裂纹）、纯（纯净无杂质）为上，块度大。

六、青田石的产地和产状简介

青田石主要产于浙江省青田县南郊。有广义和狭义青田石之分：狭义的青田石指产地在青田县南郊约十几千米的方山、山口一带，主要矿点有山口、方山、塘古、山炮、白岩、岭头、季山、周村、封门山（又名风门山）、下堡等地，所产图章石统称“青田石”。广义的青田石指分布于浙江全省、与青田石雕所用叶蜡石材料类似的其他玉石材料。

青田石主要赋存于晚侏罗纪及白垩纪中酸性火山岩中。其矿体呈似层状、透镜体状、脉状及其他不规则形状，长几十米至100m以上，宽几米、十几米至几十米，矿石具有各种各样的变余交代结构，围岩蚀变有此生石英岩化、叶蜡石化、高岭土化、绢云母化等，矿床在成因上属于火山热液交代型青田石矿床。青田石矿点，以山口—方山一带的山口叶蜡石矿区最大。该矿区位于浙江省东部沿海中生代火山喷发带中部，北山—山口火山洼地中，山口—油竹南北向断裂带通向矿区，呈北东—南西向展部，全长6km，自北向南，目前分布有尧士、旦洪、封门、白垟、老鼠坪五个矿段。根据矿化带的分布出露特点，划分尧士、封门和白垟、老鼠坪三个矿段。除青田县以外，目前已知的浙江省其他产地有40多处，如苍南、泰顺、云和、常山、林安、萧山、上虞、嵊州、天台等县的火山岩分布区都有产出。其含矿岩层主要赋存于侏罗纪白垩纪火山岩系，其次是寒武纪火山岩中。

第三章 稀 少 宝 石

第一节 硫化物、氧化物及氢氧化物、卤化物

一、硫化物



图 3-3-1 红色闪锌矿

（一）闪锌矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：闪锌矿（Sphalerite）。

2）化学成分：ZnS。

3）晶系及结晶习性：等轴晶系，晶体常呈四面体、立方体、菱形十二面体（见图3-3-1），集合体呈粒状、葡萄状、同心圆状。



图 3-3-2 黄色闪锌矿

4）颜色：无色、浅黄、棕褐、黑色（含铁量越高颜色越深），有的呈绿色、红色、黄色（见图3-3-2）。

5）光泽与透明度：金刚光泽—半金属光泽（随含铁量的增多而增强）；透明—半透明。

6）光性：均质体。

7）折射率与双折射率：折射率为2.37；无双折射率。

8）多色性：三色性中—强黄色至褐色，榍石浅黄色，褐橙色和褐黄色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性，有时呈橘红色荧光。

10）吸收光谱：具651nm、667nm、690nm吸收线。

11）解理：{110}解理完全。

12）摩氏硬度：3～4.5。

13）密度：3.9～4.2g/cm^3（随铁含量的增加而降低）。

2. 宝石学资料

美国华盛顿斯密逊博物馆珍藏品：

1）黄褐色闪锌矿，重73.3ct，美国犹他州产。

2）黄绿色闪锌矿，重59.5ct，美国新泽西州产。

3）黄色闪锌矿，重48ct，墨西哥产。

3. 产状与产地

1）产状：常见于各种热液型矿床中。

2）产地：墨西哥Sonora，美国的俄亥俄州、新泽西州，西班牙，瑞士，中国，加拿大。

（二）雄黄

1. 矿物学特征


图 3-3-3 雄黄与方解石共生


图 3-3-4 雄黄

1）矿物名称：雄黄（Realgar）。

2）化学成分：AsS。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系；晶体细小呈柱状，有时为针状；集合体呈细微粒状、致密块状，土状（见图 3-3-3、图 3-3-4）。

4）颜色：橘红色。

5）光泽与透明度：金刚光泽，断口为油脂光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=2.704，n_m=2.684，n_p=2.538；双折射率为 0.166。

8）多色性：浅绿黄色至朱砂红色；无色至浅橙黄红色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{010}解理完全，{120}、{101}、{100}解理中等。

12）摩氏硬度：1.5～2。

13）密度：3.56g/cm^3。

2. 产状与产地

1）产状：产于低温热液矿脉中与雌黄共生，还见于热泉沉积物和火山凝化物。

2）产地：主要产于美国、中国湖南和云南。

（三）辰砂

1. 矿物学特征


图 3-3-5 菱面体辰砂


图 3-3-6 柱状辰砂晶体

1）矿物名称：辰砂（Cinnabar）。

2）化学成分：HgS。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，晶体呈菱面体，平行{0001}面呈板状（见图 3-3-5）和平行 *Z* 轴呈柱状（见图 3-3-6），集合体呈致密块状、不规则粒状、粉末状和皮壳状等。

4）颜色：暗红、鲜红、浅红色。

5）光泽与透明度：金刚光泽；半透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_e=3.272，n_o=2.913；双折射率为 0.359。

8）多色性：橙黄—红色，暗红色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{$10\bar{1}0$}解理完全。

12）摩氏硬度：2～2.5。

13）密度：8.0～8.2g/cm^3。

2. 宝石学资料

1）中国地质博物馆珍藏红色晶体（双晶），重1185ct，中国贵州产。

2）加拿大珍藏红色晶体，重2.68ct。

3. 产状与产地

1）产状：产于碳酸盐岩层，亦见于近代火山、温泉附近。

2）产地：主要产于中国贵州、墨西哥、美国、意大利、西班牙。

（四）淡红银矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：淡红银矿（Proustite）。

2）化学成分：Ag_3AsS_3。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，晶体呈柱状和菱面体，集合体为致密块状或粒状（见图3-3-7）。



图3-3-7 淡红银矿

4）颜色：深红—橘红色。

5）光泽与透明度：金刚光泽；半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=3.088，n_e=2.792；双折射率为0.296。

8）多色性：血红，洋红。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理及断口：$\{10\bar{1}1\}$解理完全，贝壳状断口。

12）摩氏硬度：2～2.5。

13）密度：5.57～5.64g/cm^3。

2. 宝石学资料

美国华盛顿斯密逊博物馆珍藏德国产的重9.9ct的红色晶体。

3. 产状与产地

1）产状：产于低温矿床或脉状矿体上部。

2）产地：最佳晶体产于智利Dolores矿山，墨西哥、美国、德国也有产出。

二、氧化物及氢氧化物

（一）塔菲石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：塔菲石（Taaffeite）。

2）化学成分：$MgBeAl_4O_8$。

3）晶系及结晶习性：六方晶系，常见六方双锥晶形或六方桶状晶形，呈粒状集合体。

4）颜色：无色、绿色、蓝色、紫色（见图3-3-8）、紫红色；当含Cr时，呈粉红或红色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.719～1.723(±0.002)；双折射率为0.004～0.005。

8）多色性：随颜色变化。

9）荧光：无至弱，绿色。

10）吸收光谱：不特征，可有 458nm 弱吸收带。

11）解理：无。

12）摩氏硬度：8～9。

13）密度：3.61(± 0.01)g/cm³。

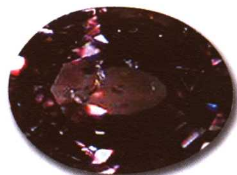


图 3-3-8 塔菲石

2. 宝石学资料

1）英国伦敦地质博物馆收藏重为 0.86ct 的塔菲石宝石。

2）美国私人收藏重为 5.34ct 的深褐色塔菲石宝石。

3. 产状与产地

1）产状：产于变质石灰岩和矽卡岩中。

2）产地：主要产于斯里兰卡、美国、中国湖南香花岭。

（二）锡石

1. 矿物学特征



图 3-3-9 锡石晶体



图 3-3-10 锡石（膝状双晶）

1）矿物名称：锡石（Cassiterite）。

2）化学成分：SnO_2，可含有 Fe、Nb、Ta 等元素。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体常呈双锥状、锥柱状（见图 3-3-9），有时呈针状，常见膝状双晶（见图 3-3-10）。

4）颜色：无色、黄色、浅褐、红。

5）光泽与透明度：金刚光泽至亚金刚光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.997～2.093(+ 0.009，− 0.006)；双折射率为 0.096～0.098。

8）多色性：弱至中，浅至暗褐。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{100}和{110}解理不完全。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：6.95(± 0.08)g/cm³。

2. 宝石学资料

1）美国华盛顿斯密逊博物馆收藏黄褐色宝石，重 10ct，玻利维亚产。

2）加拿大卡尔加里狄沃团体收藏褐色宝石，重 14.85ct 和 9.51ct，产自玻利维亚。

3）美国 GIA 实验室收藏重约 5ct 的暗褐色宝石。

3. 产状与产地

1）产状：产于花岗岩、石英斑岩、高温热液脉、花岗伟晶岩及云英岩中。

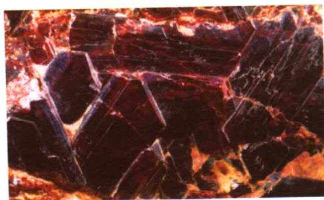
2）产地：玻利维亚、西班牙、西南非洲、澳大利亚、美国、墨西哥、英国、中国云南。

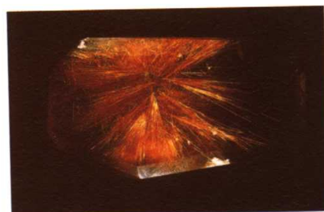
（三）金红石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：金红石（Rutile）。

2）化学成分：TiO_2。


图 3-3-11　板状金红石晶体


图 3-3-12　放射状金红石晶体

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体呈完好的四方柱状或针状，集合体呈致密块状（见图3-3-11），与锐钛矿、板钛矿为同质多象。单晶体呈短柱状，长柱状或针状（见图3-3-12），双晶常以（011）成膝状双晶或三连晶。

4）颜色：暗红、褐红、黄、橘黄，Fe 含量高者为黑色。

5）光泽与透明度：金刚光泽—金属光泽；半透明—不透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_e=2.899～2.901，n_o=2.605～2.613；双折射率为 0.288～0.294。

8）多色性：黄色至褐色，暗红色至暗褐色。钽铁金红石为灰、黄、棕黄，绿，红棕；铝铁金红石为黄绿、红褐，暗褐绿、褐黑。

9）荧光：紫外光下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{110}解理完全，{100}解理中等。

12）摩氏硬度：6～6.5。

13）密度：4.2～4.3g/cm^3，富铁或铬、或者密度增大，可达 5.5g/cm^3 以上。

2. 宝石学资料

加拿大卡尔加里狄沃团体收藏的金红石宝石重 3.7ct。

3. 产状与产地

1）产状：产于火成岩、变质岩、花岗伟晶岩和石英脉中。

2）产地：巴西、挪威、瑞士、原苏联、法国、美国、墨西哥等地。

（四）赤铁矿

1. 矿物学特征


图 3-3-13　赤铁矿

1）矿物名称：赤铁矿（Hematite）。

2）化学成分：Fe_2O_3。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，完好晶体少见，常呈显晶质的板状、鳞片状、粒状（见图 3-3-13）及隐晶质的致密块状、鲕状、豆状肾状、粉末状等集合体形态。

4）颜色：钢灰色至铁黑色，隐晶质或粉末状变种呈暗红色至鲜红色。

5）光泽与透明度：金属光泽；透明度差，只有细薄片或晶体碎片边缘透光。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 2.940～3.220(－0.070)；双折射率为 0.280。

8）多色性：无（不透明）。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：不特征。

11）解理及断口：无解理；锯齿断口，断口光泽弱。

12）摩氏硬度：5～6。

13）密度：5.20(＋0.08，－0.25)g/cm^3。

2. 产状与产地

1）产状：产于沉积的或变质的沉积型铁矿床中。

2）产地：美国、英国、挪威、巴西、瑞典、厄尔巴岛、德国、新西兰。

（五）锐钛矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：锐钛矿（Anatase）。

2）化学成分：TiO_2。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体为锥状或柱状、短柱状（见图3-3-14），与金红石、板钛矿为同质多象。



图3-3-14 柱状锐钛矿晶体

4）颜色：褐、黄、浅绿蓝、浅紫、灰黑。

5）光泽与透明度：金刚光泽—金属光泽；透明—微透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_e=2.452～2.569，n_o=2.518～2.658；双折射率为0.066～0.089。

8）多色性：浅色晶体多色性弱，深色晶体多色性强。褐色者为浅绿黄色，浅黄褐色；酒黄色者为暗酒黄色，浅红或淡褐色；绿黄色者为浅绿黄色，浅红或褐黄色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理及断口：{001}、{011}解理完全，贝壳状断口。

12）摩氏硬度：5.5～6.5。

13）密度：3.82～3.97g/cm³。

2. 产状与产地

1）产状：产于片麻岩、片岩及其他变质岩的裂隙或脉中。

2）产地：瑞士、巴西、美国、英国、奥地利、法国。

（六）板钛矿

1. 矿物学特征



图3-3-15 板钛矿

1）矿物名称：板钛矿（Brookite）。

2）化学成分：TiO_2。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体常呈板状（见图3-3-15）、柱状，与金红石、锐钛矿为同质多象变体。

4）颜色：淡黄、淡红、淡红褐、铁黑色等。

5）光泽与透明度：金刚光泽—金属光泽；近乎不透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=2.700～2.741，n_m=2.584～2.586，n_p=2.583；双折射率为0.117～0.158。

8）多色性：亮黄色、浅红褐色，亮黄色、橙黄褐色，无色、橄榄色、黄褐色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收光谱。

11）解理：{110}解理不完全。

12）摩氏硬度：5.5～6。

13）密度：3.9～4.14g/cm³。

2. 产状与产地

1）产状：产于片麻岩、片岩内的阿尔卑斯型矿脉中或呈副矿物和热液蚀变矿物产出。

2）产地：美国、瑞士、英国、巴西。

（七）方镁石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：方镁石（Periclase）。

2）化学成分：MgO。

3）晶系及结晶习性：等轴晶系，完整晶形少见，常呈不规则粒状或浑圆粒状（见图3-3-16）。



图 3-3-16 方镁石

4）颜色：无色、灰白、黄、棕黄、绿、黑。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明，随FeO含量增加，透明度降低。

6）光性：均质体。

7）折射率与双折射率：折射率为1.736；无双折射率。

8）多色性：无。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{100}解理完全。

12）摩氏硬度：5.5～6。

13）密度：3.5～3.9g/cm³。

2. 产状与产地

1）产状：是白云岩和镁质石灰岩接触变质形成的高温矿物，亦见于火山熔岩中。

2）产地：美国、意大利维苏威、瑞典。

（八）钽铋矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：钽铋矿（Bismutotantalite）。

2）化学成分：$Bi(Ta,Nb)O_4$。

3）晶系及结晶形：斜方晶系，晶体呈柱状、板状（见图3-3-17）。

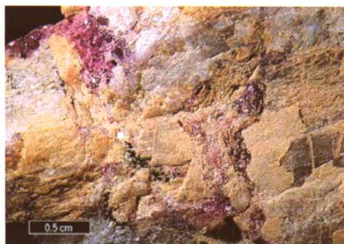


图 3-3-17 钽铋矿

4）颜色：松脂黑色、烟灰、浅褐。

5）光泽与透明度：金刚光泽—半金属光泽；半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_o=2.426～2.46，n_m=2.40～2.408，n_p=2.32～2.395；双折射率为0.10～0.15。

8）多色性：无。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{110}解理完全，{001}解理中等。

12）摩氏硬度：5～5.5。

13）密度：8.0～9.0g/cm³。

2. 宝石学资料

加拿大卡尔加里狄沃团体收藏重为4.65ct巴西产的宝石。

3. 产状与产地

1）产状：产于花岗伟晶岩。

2）产地：美国、澳大利亚、瑞典、乌干达。

（九）红锌矿

1. 矿物学特征



图3-3-18 红锌矿

1）矿物名称：红锌矿（Zincite）。

2）化学成分：ZnO。

3）晶系及结晶习性：六方晶系，完整晶体少见，多为粒状、叶片状或致密块状。

4）颜色：橙黄、暗红、褐红（红色由杂质锰元素引起）（见图3-3-18）。

5）光泽与透明度：金刚光泽；细碎片透明或沿边缘透光。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_e=2.005～2.056，n_o=1.990～2.039；双折射率为0.015～0.017。

8）多色性：无。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收。

11）解理：$\{10\bar{1}0\}$解理完全，$\{11\bar{2}0\}$解理中等。

12）摩氏硬度：4～5。

13）密度：5.64～5.68g/cm³。

2. 宝石学资料

1）美国华盛顿斯密逊博物馆收藏重20.1ct和12.3ct的宝石，美国产。

2）美国纽约自然历史博物馆收藏的红色宝石重16.27ct，美国产。

3. 产状与产地

1）产状：产于锌矿床白色方解石脉中。

2）产地：美国、意大利、西班牙、波兰、澳大利亚。

（十）赤铜矿

1. 矿物学特征

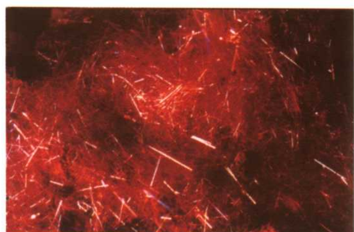


图3-3-19 赤铜矿

1）矿物名称：赤铜矿（Cuprite）。

2）化学成分：Cu_2O。

3）晶系及结晶习性：等轴晶系，晶体呈立方体（见图3-3-19）、八面体或其聚形，也有针状晶体（见图3-3-20）。


图3-3-20 针状赤铜矿晶体

4）颜色：红色、紫红、褐红、近黑色，表面有时为铅灰色。

5）光泽与透明度：金刚光泽—半金属光泽；透明—不透明。

6）光性：均质体。

7）折射率与双折射率：折射率为2.849；无双折射率。

8）多色性：无。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{111}解理不完全，有时可见{100}解理。

12）摩氏硬度：3.5～4.5。

13）密度：5.85～6.15g/cm^3。

2. 宝石学资料

1）美国华盛顿斯密逊博物馆收藏的宝石重182ct，产于西南非洲。

2）加拿大卡尔加里狄沃团体收藏的红色宝石，重48.6ct，产于西南非洲。

3. 产状与产地

1）产状：产于铜矿氧化带中，常与自然铜、孔雀石共生。

2）产地：美国、墨西哥、玻利维亚、纳米比亚、智利、澳大利亚、法国。

（十一）硬水铝石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硬水铝石（Diaspore）。

2）化学成分：AlO(OH)。

3）晶系及常见晶形：斜方晶系，晶体平行{010}发育成板状（见图3-3-21）或沿Z轴伸长成柱状或针状，集合体通常呈片状、鳞片状、放射状（见图3-3-22）或隐晶质及胶态豆状、鲕状。

4）颜色：白、灰白、黄褐、灰绿、浅红或无色。


图3-3-21 板状硬水铝石晶体


图3-3-22 放射状硬水铝石晶体

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.730～1.752，n_m=1.705～1.725，n_p=1.682～1.706；双折射率为0.04～0.05。

8）多色性：常以鳞片状集合体形式出现，无多色性体现。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{010}解理完全，{110}、{210}、{100}解理不完全。

12）摩氏硬度：6.5～7。

13）密度：3.2～3.5g/cm^3。

2. 产状与产地

1）产状：产于刚玉岩、蚀变火山岩和铝土矿矿床中。

2）产地：美国、匈牙利、纳米比亚、原苏联。

三、卤化物

（一）冰晶石

1. 矿物学特征



图 3-3-23 冰晶石

1）矿物名称：冰晶石（Cryolite）。

2）化学成分：Na_3AlF_6。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，完好晶形少见，通常呈致密块状，有时呈片状或粒状。晶体呈假立方体（见图 3-3-23）和短柱状，常呈双晶，通常以块状或粒状集合体产出。

4）颜色：无色、白色，有时呈浅灰、浅棕、浅红或砖红色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽至油脂光泽，裂理面{110}呈珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.3396，n_m=1.3389，n_p=1.3385；双折射率为 0.001。

8）多色性：不明显。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理及断口：无解理；参差状断口。

12）摩氏硬度：2～3。

13）密度：2.95～3.1g/cm³。

2. 产状与产地

1）产状：产于侵入片麻岩中的花岗岩，亦见于碱性岩中。

2）产地：格陵兰、西班牙、俄罗斯、美国。

（二）锥冰晶石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：锥冰晶石（Chiolite）。

2）化学成分：$Na_5Al_3F_{14}$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体通常呈很细小的双锥状，集合体呈块状（见图 3-3-24）。



图 3-3-24 锥冰晶石

4）颜色：无色、白色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=1.3486，n_e=1.3424；双折射率为 0.006。

8）多色性：无。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{001}解理完全，{011}解理中等。

12）摩氏硬度：3.5～4。

13）密度：2.99g/cm³。

2. 产状与产地

1）产状：产于冰晶石伟晶岩中。

2）产地：俄罗斯、格陵兰。

第二节 硅 酸 盐

（一）硅铍石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硅铍石（Phenakite）。

2）化学成分：Be_2SiO_4。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，常见的晶形有菱面体或菱面体与柱面聚合而成的短柱状（见图3-3-25），或呈细粒状集合体。



图 3-3-25 硅铍石

4）颜色：无色、黄色、浅红色、褐色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.654～1.670；双折射率为0.016。

8）多色性：因颜色而异。

9）荧光：紫外线下可具弱粉红、浅蓝或绿色荧光。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理及断口：{11$\bar{2}$0}解理中等，{10$\bar{1}$1}解理不完全；贝壳状断口。

12）摩氏硬度：7～8。

13）密度：2.95(± 0.05)g/cm³。

14）其他：内部常见针硫铋铅矿和片状云母，有脆性。

2. 宝石学资料

美国华盛顿斯密逊博物馆珍藏了一块重22.2ct的无色宝石和一块重500多ct的刻面宝石。

3. 产状与产地

1）产状：主要产于伟晶岩中，云英岩中也有产出。

2）产地：俄罗斯、美国、挪威、法国、墨西哥、巴西、捷克、坦桑尼亚、纳米比亚。

（二）十字石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：十字石（Staurolite）。

2）化学成分：$Fe_2Al_9(SiO_4)_4O_7(OH)$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，常见晶形为短柱状（见图3-3-26），双晶非常特征，常呈穿插双晶（见图3-3-27）。


图3-3-26 柱状十字石


图3-3-27 十字石穿插双晶

4）颜色：深褐、红褐、黄褐，透射光下呈淡金黄色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽，不纯净时暗淡无光或呈土状光泽；半透明—不透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.752～1.761，n_m=1.745～1.753，n_p=1.739～1.747；双折射率为0.013～0.014。

8）多色性：无色，黄或红和金黄色（三色性）。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：有时450nm附近强吸收线，580nm附近弱吸收线。

11）解理及断口：{010}解理中等，参差到贝壳状断口。

12）摩氏硬度：7.5。

13）密度：3.74～3.83g/cm³。

2. 宝石学资料

美国华盛顿斯密逊博物馆珍藏的深褐色宝石，重3.0ct，巴西产。

3. 产状与产地

1）产状：产于结晶片岩和片麻岩。

2）产地：巴西、瑞士、美国。

（三）蓝线石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：蓝线石（Dumortierite）。

2）化学成分：$(Al,Fe)_7(SiO_4)_3(BO_3)O_3$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，常呈柱状，有时可见平行（010）聚片双晶。


图3-3-28 蓝线石原石

4）颜色：青蓝色至绿蓝色、褐、粉红色，紫色，透射光下无色、黄绿至紫色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；单晶体，半透明—透明，集合体不透明（见图3-3-28、3-3-29）。


图3-3-29 随形蓝线石

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.686～1.723，n_m=1.684～1.672，n_p=1.659～1.686；双折射率为0.027～0.037。

8）多色性：具强三色性，黑色、褐色、红褐色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性，有些品种在长波紫外线有蓝色荧光，内达华州的蓝线石在短波紫外光下有白色荧光。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理及断口：{100}中等，{110}不完全，{210}极不完全；参差到贝壳状断口。

12）摩氏硬度：7。

13）密度：$3.35g/cm^3$。

14）特殊光学效应：偶见猫眼效应。

15）色散：0.023。

2. 宝石学资料

蓝线石具有漂亮的颜色，较高的硬度，块状蓝线石经常被琢磨成弧面形、珠形或雕件，它与青金石、方钠石等宝石具有相似的外观，所以常作为青金石的仿制品。与方钠石的区别是，方钠石硬度低，具有典型的白色脉状包体。与青金石的区别是，青金石具有黄铁矿包体。

3. 产状与产地

1）产状：产于铝质变质岩和伟晶气成岩中。

2）产地：美国、斯里兰卡。

（四）符山石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：符山石 Idocrase（Vesuvianite）。

2）化学成分：$Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体常呈平行Z轴的柱状（见图 3-3-30、3-3-31）。



图 3-3-30 符山石晶体

4）颜色：常呈黄、灰、绿和褐色，与含杂质铁有关，含铬时呈绿色，含铜时呈蓝—绿蓝色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.713～1.718（＋0.003，－0.013），点测法为 1.71；双折射率为 0.001～0.012。

8）多色性：无至弱，因颜色而异。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。



图 3-3-31 符山石集合体

10）吸收光谱：464nm 吸收线，528.5nm 弱吸收线。

11）解理及断口：解理不完全；贝壳状到参差状断口。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：$3.40(+0.10, -0.15)g/cm^3$。

14）其他：晶体具带状构造，有时具异常干涉色，吹管火焰易熔且膨胀，在盐酸中部分溶解并析出 SiO_2 胶冻，具脆性。

2. 宝石学资料

1）符山石品种之一加州玉为一种绿色、黄绿色致密块状符山石，质地细腻，湿润如玉，发现于美国加州而得名。

2）美国华盛顿斯密逊博物馆收藏的褐色宝石重3.5ct，意大利产；加拿大卡尔加里狄沃团

体珍藏的褐色宝石重8.5ct，产自非洲。

3. 产状与产地

1）产状：产于接触变质结晶石灰岩和蛇纹岩中和接触交代矽卡岩中。

2）产地：意大利、肯尼亚、美国、加拿大、巴基斯坦。

（五）粒硅镁石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：粒硅镁石（Chondrodite）。

2）化学成分：$Mg_5(SiO_4)_2F_2$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，常见晶形为凸透镜状，板、柱状（见图3-3-32），常见平行{100}聚片双晶。



图3-3-32 粒硅镁石

4）颜色：黄、褐，红，绿。

5）光泽及透明度：玻璃光泽—油脂光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.623～1.663，n_m=1.603，n_p=1.593～1.635；双折射率为0.024～0.036。

8）多色性：无色，极淡黄，极浅黄。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱；未见特征吸收谱。

11）解理及断口：{100}解理不完全；贝壳状断口。

12）摩氏硬度：6～6.5。

13）密度：3.161～3.264g/cm³。

2. 宝石学资料

美国纽约自然历史博物馆藏有圆形、重1～2ct的粒硅镁石宝石。

3. 产状与产地

1）产状：常见于斜硅镁石磁铁矿镁矽卡岩中，呈脉状或粒状。

2）产地：美国、瑞典、芬兰。

（六）榍石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：榍石（Sphene）。

2）化学成分：$CaTiSiO_5$。



图3-3-33 片状榍石晶体

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，常见扁平信封状晶体（见图3-3-33），横截面呈楔形。有时为板状、柱状、针状、粒状集合体。

4）颜色：蜜黄色、绿色、褐色、橙色、无色，偶尔红色。

5）光泽及透明度：金刚光泽，油脂或玻璃光泽；不透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.900～2.034(±0.020)；双折射率为0.100～0.135。

8）多色性：黄色至褐色榍石为中—强，浅黄色、褐橙色和褐黄色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）解理及断口：具两组中等解理；贝壳状断口。

11）摩氏硬度：5～5.5。

12）密度：3.52(± 0.02)g/cm^3。

13）放大检查：可见指纹状包体、矿物包体、双晶，可见后刻面棱线重影。

14）其他：色散强（0.051）。

2. 宝石学资料

榍石单晶可磨制成很漂亮的多面形刻面宝石，有时也加工成祖母绿型。品质最优秀的榍石大概当属美国国家博物馆保存的由16块宝石级榍石组成的项链，其中最大的一颗重15ct以上。

3. 产状与产地

产于变质岩中，是典型的接触变质矿物。主要产地有瑞士的圣哥达地区、法国、加拿大、墨西哥等。

（七）硅硼钙石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硅硼钙石（datolite）。

2）化学成分：$CaBSiO_4(OH)$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，短柱状晶体（见图3-3-34），常呈粒状或块状集合体。



图 3-3-34 硅硼钙石晶体

4）颜色：无色、白色、浅绿色、浅黄色、粉色、紫色、褐色、灰色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；半透明—透明（见图3-3-35）。



图 3-3-35 硅硼钙石刻面

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.626～1.670(－0.004)；双折射率为0.044～0.046。

8）多色性：无。

9）荧光：无至中，短波下蓝色。

10）吸收光谱：不特征。

11）解理：无。

12）摩氏硬度：5～6。

13）密度：2.95(± 0.05)g/cm^3。

14）放大检查：易见后刻面重影，可见气液包体。

2. 宝石学资料

晶体透明者用于收藏，磨制成刻面宝石很少直接作为珠宝首饰，多用于收藏。

3. 产状与产地

常见于基性侵入岩脉及伟晶岩中，亦见于火山岩杏仁体中，和葡萄石、沸石等共生。世界上出产宝石级硅硼钙石的国家主要有美国、奥地利、英国等。

（八）蓝晶石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：蓝晶石（Kyanite）。

2）化学成分：Al_2SiO_5，可含有Cr、Fe、Ca、Mg、Ti等元素。



图3-3-36 放射状蓝晶石晶体

3）晶系及结晶习性：三斜晶系，常呈柱状晶形，常见放射状集合体（见图3-3-36），可见双晶。

4）颜色：常见浅至深蓝色，还可有绿、黄、灰、褐、无色等。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.716～1.731(±0.004)；双折射率为0.012～0.017。

8）多色性：蓝色蓝晶石多色性强度中等，多色性颜色为无色、深蓝和紫蓝。

9）荧光：长波紫外线下具弱红色荧光，短波紫外线下表现为荧光惰性。

10）吸收光谱：可见435nm、445nm吸收带。

11）解理及断口：{100}解理完全，{010}中等到完全；参差状断口，断口具玻璃光泽至珍珠光泽。

12）硬度：摩氏硬度随晶体的不同方向而变化。平行Z轴方向摩氏硬度为4～5，垂直Z轴方向摩氏硬度为6～7。

13）密度：3.68(+0.01，－0.12)g/cm^3。

14）放大检查：可具固态包体、色带、解理纹等。

15）其他：可具猫眼效应。

2. 宝石学资料

晶体可磨制成刻面宝石，但很难琢磨和抛光。

3. 产状与产地

产于片麻岩和云母片岩中，主要产地有印度、缅甸、瑞士、原苏联、巴西、肯尼亚、美国等。

（九）鱼眼石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：鱼眼石（Apophyllite）。

2）化学成分：$KCa_4Si_8O_{20}(F,OH)\cdot{}_8H_2O$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体呈柱状（见图3-3-37、图3-3-38），板状、假立方体状。

4）颜色：可有无色、黄色、绿色、紫色和粉红色。无色或白色，有时被染成浅玫瑰红色，浅蓝、黄、绿等色，褐色较少。

5）光泽及透明度：玻璃光泽—珍珠光泽，解理面上呈珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.535～1.537；双折射率为0.002。



图3-3-37 柱状鱼眼石晶体


图 3-3-38 氟鱼眼石

8）多色性：多色性颜色随体色而异。

9）荧光：在短波紫外线下可具弱淡黄色或灰绿色荧光。

10）吸收光谱：未见特征吸收谱。

11）解理：{001}解理完全，{110}不完全。

12）摩氏硬度：4～5。

13）密度：2.40(± 0.10)g/cm^3。

14）放大检查：放大检查时可见气液包体。

2. 宝石学资料

鱼眼石质脆易破裂，因此很难琢磨。

3. 产状与产地

产于玄武岩、花岗岩和片麻岩的孔洞中。主要产地有墨西哥的爪纳华托州，美国的芬迪湾区域和缅因州、加拿大、巴西、芬兰、德国、捷克和斯洛伐克等地。见于基性喷出岩的杏仁体里。

（十）透视石

1. 矿物学特征


图 3-3-39 柱状透视石晶体

1）矿物名称：透视石(Dioptase)。

2）化学成分：$CuSiO_2(OH)_2$。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，晶体呈短柱状（见图 3-3-39）或块状。

4）颜色：常见蓝绿色、绿色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.655～1.708(± 0.012)；双折射率为 0.051～0.053。

8）多色性：多色性弱，多色性颜色因体色而异。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：可具 550nm 宽吸收带。

11）解理及断口：三组完全解理；参差到贝壳状断口。

12）摩氏硬度：5。

13）密度：3.30(± 0.05)g/cm^3。

14）放大检查：可见气液包体。

2. 宝石学资料

透视石由于解理很发育，很难加工成刻面宝石，多作为矿物标本收藏。

3. 产状与产地

透视石产于铜矿氧化带，与孔雀石、方解石等矿物共生。主要产地有刚果、扎伊尔及纳米比亚等地。

（十一）蓝锥矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：蓝锥矿（Benitoite）。

2）化学成分：$BaTiSi_3O_9$。

3）晶系及结晶习性：六方晶系，晶体多呈柱状或板状（见图 3-3-40）。

4）颜色：蓝、紫蓝，常见具环带的浅蓝、无色或白色，粉色稀少。

5）光泽及透明度：玻璃光泽—亚金刚光泽；透明—半透明。

图 3-3-40　板状蓝锥矿晶体

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.757～1.804；双折射率为 0.047。

8）多色性：多色性强，多色性颜色为蓝色和无色，紫红和紫色。

9）荧光：短波紫外线下可具强蓝白色荧光，浅蓝色，长波惰性。

10）吸收光谱：不具特征吸收光谱。

11）解理及断口：具一组不完全解理；贝壳状断口。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：3.68(+ 0.01，− 0.07)g/cm³。

14）放大检查：放大检查中可见明显的后刻面棱线重影及色带。钠沸石、青铝闪石，偶见两相气液包体。

15）其他：色散强（0.044）。

2. 宝石学资料

琢型宝石具有鲜明的外观，但宝石一般很小，极少有重于1ct的成品，多用于收藏，在外观上有可能与蓝宝石相混（见蓝宝石一节）。

3. 产状与产地

在蛇纹岩中与柱晶石、钠沸石等伴生，产于美国加州圣本尼托县。

（十二）斧石

1. 矿物学特征



图 3-3-41　斧石球状集合体

1）矿物名称：斧石（Axinite）。

2）化学成分：$(Ca,Fe,Mn,Mg)_3Al_2BSi_4O_{15}(OH)$。

3）晶系及结晶习性：三斜晶系，呈板状晶体或集合体（见图 3-3-41），常见宽薄的楔形。

4）颜色：常见颜色有褐色、紫褐色、紫色、褐黄色及蓝色，灰色，无色，黄绿色，黄色，红紫色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.678～1.688(± 0.005)；双折射率为 0.010～0.012。

8）多色性：通常具有强三色性，多色性颜色可有紫至粉红、浅黄色、红褐色。美国内华达州产出的斧石多色性颜色有红褐、黄褐、黄绿或无色，斯里兰卡产出的斧石多色性颜色有红褐、深紫、无色或灰黄色。

9）荧光：紫外线下通常无荧光。黄色品种在短波紫外线下可具红色荧光。新泽西产出的斧石在短波紫外线下具红色荧光，长波惰性；坦桑尼亚的斧石在短波紫外线下具暗红色荧光，

长波紫外线下具橙红色荧光。

10）吸收光谱：可具412nm、466nm、492nm、512nm吸收线。

11）解理及断口：可具一组{010}中等解理；贝壳状或阶梯状断口，断口为玻璃光泽。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：3.29(＋0.07，－0.03)g/cm^3。

14）放大检查：可见矿物包体、气液包体、色带。

15）其他：在HF溶液中缓慢溶解，慎与盐酸接触。

2. 宝石学资料

斧石可琢磨成很美丽的刻面宝石，但容易破损，因此多用于收藏。

3. 产状与产地

斧石主要是接触变质作用和交代作用的产物，常与方解石、石英、阳起石等伴生。优质斧石主要产于法国阿尔卑斯山和澳大利亚的塔斯马尼亚州。

（十三）蓝柱石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：蓝柱石（Euclase）。

2）化学成分：$BeAlSiO_4(OH)$，可含Fe，Cr等元素。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体多呈短柱状（见图3-3-42）。长棱柱状,晶体表面或解理面上有平行的条纹（见图3-3-43）。



图3-3-42 柱状蓝柱石晶体

4）颜色：通常为浅蓝绿色、浅蓝色、带黄的蓝绿色、无色、浅绿色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.652～1.671(＋0.006，－0.002)；双折射率为0.019～0.020。

8）多色性：蓝色者为蓝灰、浅蓝；绿色者为灰绿、绿。

9）荧光：紫外线下荧光惰性或具微弱荧光。

10）吸收光谱：可具468nm、455nm吸收线带，绿区、红区有吸收。

11）解理：可具{010}一组完全解理。

12）摩氏硬度：7～8。

13）密度：3.08(＋0.04，－0.08)g/cm^3。

14）放大检查：可见红色、蓝色板状包体及环带。



图3-3-43 蓝柱石晶面的平行条纹

2. 宝石学资料

由于蓝柱石有极好的解理，所以在切割琢磨时要倍加小心。可磨制成刻面宝石，一般琢磨成阶梯型或混合琢型，更多的是作为矿物标本收藏。

3. 产状与产地

产于伟晶岩中，与黄色托帕石伴生。主要产地有巴西的米纳斯吉拉斯州，原苏联的乌拉尔山区、坦桑尼亚和哥伦比亚等地。

（十四）赛黄晶

1. 矿物学特征

1）矿物名称：赛黄晶（Danburite）。

2）化学成分：$CaB_2Si_2O_8$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，常呈短柱状（见图3-3-44），顶端楔形，晶面具纵纹，可形成晶簇（见图3-3-45），集合体呈块状或粒状。

4）颜色：无色、浅黄色、褐色，偶尔粉红色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽—油脂光泽，透明—半透明。

6）光性：二轴晶，光性可正可负。

7）折射率与双折射率：折射率为1.630～1.636(±0.003)；双折射率为0.006。

8）多色性：多色性弱，因颜色而异。

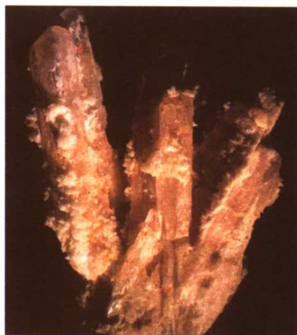


图3-3-44 柱状赛黄晶晶体

9）荧光：长波紫外线下，荧光强度可从无到强变化，荧光颜色为浅蓝至蓝绿；短波紫外线下，荧光强度变得较弱，但荧光颜色与长波下的荧光色相同。

10）吸收光谱：部分样品可见580nm的吸收线。

11）解理及断口：具一组{001}极不完全解理；参差状到贝壳状断口。

12）摩氏硬度：7。

13）密度：3.00(±0.03)g/cm³。



图3-3-45 赛黄晶晶簇

2. 宝石学资料

一般磨制成刻面宝石，很少直接作为珠宝首饰，多用于收藏。

3. 产状与产地

在白云石中与微斜长石和正长石共生。产于缅甸、马达加斯加、墨西哥、日本、瑞士。

（十五）绿帘石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：绿帘石（Epidote）。

2）化学成分：$Ca_2(Al,Fe)_3(SiO4)_3(OH)$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体多呈柱状。常呈晶簇（见图3-3-46）出现,有的晶体可见深的沟状平行条纹。有时呈纤维状（见图3-3-47）、块状或粒状集合体。

4）颜色：浅至深绿色，棕褐色、黄褐色、黑色、灰色、黄、绿。

5）光泽及透明度：玻璃光泽—油脂光泽；透明—半透明。



图3-3-46 绿帘石晶簇

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.729～1.768(+0.012，－0.035)；双折射率为0.019～0.045。

8）多色性：多色性强，同一晶体的三个方向，可见绿色、褐色、黄色三种颜色。

9）荧光：紫外光下表现为荧光惰性。


图 3-3-47 纤维状绿帘石晶体

10）吸收光谱：可见光光谱中可见445nm强吸收带，有时可具475nm弱吸收线，但不特征。

11）解理及断口：可具一组{100}完全解理，{001}不完全；参差到贝壳状断口。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：3.40(＋0.10，－0.15)g/cm³。

14）放大检查：可见气液包体，固态包体。

2. 宝石学资料

可加工成刻面宝石的绿帘石晶体较少，多用来做收藏。

3. 产状与产地

产于变质岩中，主要产地有奥地利的萨尔茨堡、意大利、挪威、巴西等。

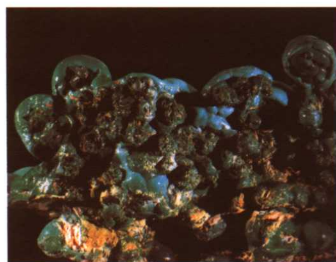
（十六）硅孔雀石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硅孔雀石（Chrysocolla）。

2）化学成分：$(Ca,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，常呈隐晶质或胶状集合体出现，块状，球状或肾状(见图 3-3-48)。


图 3-3-48 硅孔雀石

4）颜色：常见绿色、蓝绿色，含杂质时可呈褐色、黑色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽,蜡状光泽及土状光泽；微透明—不透明。

6）光性：二轴晶，正光性，集合体在正交偏光下具集合偏光。

7）折射率与双折射率：折射率为1.461～1.570，点测法可测得1.50左右；双折射率为0.006。

8）多色性：集合体不显示多色性。

9）荧光：一般表现为荧光惰性。

10）吸收光谱：没有特征吸收谱。

11）解理及断口：集合体不体现解理；贝壳状断口。

12）摩氏硬度：2～4。

13）密度：2.0～2.4g/cm³。

2. 宝石学资料

主要加工成弧面型宝石。硅孔雀石可浸染石英岩或蛋白石，用这种材料磨制的宝石具有与宿主矿物相近的特点。另外有一种称为Eilat石的材料，是硅孔雀石、绿松石和其他铜矿的混合物，此种材料具斑点状蓝色和绿色，相对密度比硅孔雀石略大，为2.8～3.2，因产于红海 Aqaba 湾的 Eilat 附近而得名。因为与绿松石有较为相似的颜色,常做绿松石的仿制品。

3. 产状与产地

硅孔雀石是铜矿物的蚀变产物，产于铜矿床的氧化带，可与孔雀石、蓝铜矿、自然铜等共生。

主要产地有：智利、美国、墨西哥、前苏联、埃及、扎伊尔、以色列等以及中国的新疆福建等地。

（十七）葡萄石

1. 矿物学特征


图 3-3-49　葡萄石晶体


图 3-3-50　葡萄石（葡萄状集合体）

1）矿物名称：葡萄石（Prehnite）。

2）化学成分：$Ca_2Al(AlSi_3O_{10})(OH)_2$，可含 Fe、Mg、Mn、Na、K 等元素。

3）晶系及结晶习性：呈板（见图 3-3-49）、片状、葡萄状（见图 3-3-50）、肾状、放射状集合体。

4）颜色：白色、浅黄、肉红、绿色、无色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；半透明者为主，无色者透明。

6）光性：二轴晶，正光性。常呈集合体出现，在正交偏光下具集合偏光。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.616～1.649(+0.016，−0.031)，点测法为 1.63；双折射率为 0.020～0.035，集合体不可测。

8）多色性：集合体不显示多色性。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）解理及断口：单晶体可具一组完全至中等解理，集合体中不显示解理；参差状断口。

11）摩氏硬度：6～6.5。

12）密度：2.80～2.95g/cm^3。

13）放大检查：放大检查时常可观察到纤维结构、放射状结构。

14）其他：偶见猫眼效应。

2. 宝石学资料

可加工成刻面宝石的葡萄石晶体非常少，块状葡萄石多用于做雕件。

3. 产状与产地

产于玄武岩的洞穴中，呈板状、脉状。主要产地有法国、瑞士、南非、美国的新泽西州等地。

（十八）透闪石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：透闪石（Tremolite）。

2）化学成分：$Ca_2(Me,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$。


图 3-3-51　透闪石

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，柱状晶体（见图 3-3-51），多呈纤维状集合体。

4）颜色：无色、灰白色、粉红色、浅绿色、褐色，淡紫色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽，丝状光泽到暗淡光泽；微透明－半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.60～1.63；双折射率为 0.026。

8）多色性：可具浅黄绿色、浅绿色多色性，集合体无多色性显示。

9）荧光：紫外线下可具粉红、橙色荧光。

10）吸收光谱：可见光吸收光谱不特征，有些具437nm吸收线，某些绿色品种可具684nm、650nm、628nm 吸收线。

11）解理及断口：晶体具两组完全解理，集合体不显示解理；参差状断口。

12）摩氏硬度：5～6。

13）密度：2.9～3.2g/cm^3。

14）放大检查：可见纤维状结构。

15）其他：可具猫眼效应。

2. 宝石学资料

当细小的透闪石纤维定向性很好时，可磨制成弧面型宝石，能显示猫眼效应。一般情况下透闪石的单矿物岩可做玉雕材料。

3. 产状与产地

产于接触变质和接触交代变质带，也可由超基性岩蚀变而成。

主要产地有：美国、加拿大、缅甸、坦桑尼亚、赛拉利昂、意大利、奥地利、瑞士及中国等地。

（十九）阳起石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：阳起石（Actinolite）。

2）化学成分：$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体多为扁平状，粗到细粒状，常呈纤维状集合体，或辐射块状，致密块状（见图3-3-52、图3-3-53）。



图 3-3-52 阳起石晶体

4）颜色：浅至深绿色、黄绿色、黑色、浅褐色、白色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；半透明—透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.614～1.641(±0.014)，点测法为1.63(±0.01)；双折射率为0.022～0.027。

8）多色性：单晶体表现中等强度的多色性，多色性颜色为黄至深绿色，集合体不显示多色性。

9）荧光：紫外线下表现为荧光惰性。

10）吸收光谱：可具503nm弱吸收线。



图 3-3-53 阳起石猫眼

11）解理及断口：单晶体可具两组完全解理，集合体通常不显示解理；参差状断口。

12）摩氏硬度：5～6。

13）密度：3.00(+0.10，－0.05)g/cm^3。

14）放大检查：可见纤维状结构。

15）其他：可具猫眼效应。

2. 宝石学资料

常可见具猫眼效应的阳起石宝石，绝大多数情况下，阳起石与其他矿物集合成块状体，可做玉雕材料。单晶阳起石十分罕见，很少用于加工，多作为晶体收藏。

3. 产状与产地

产于片麻岩、千枚岩，以及绿泥石、滑石、蛇纹石等绿色片岩中。在变质岩中与滑石、石棉、蛇纹石等矿物共生。阳起石的产出条件与透闪石相同。主要产于美国加利福尼亚、中国台湾、马达加斯加。

（二十）滑石

1. 矿物学特征


图 3-3-54 片状滑石晶体

1）矿物名称：滑石（Talc）。

2）化学成分：$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$。

3）晶系结晶习性：单斜晶系，单晶呈板状，集合体通常呈致密块状、片状（见图 3-3-54）或鳞片状集合体。

4）颜色：可具浅灰白、黄、粉红、绿等多种颜色，纯净者为白色或微带浅黄、粉红、浅绿、浅褐等白色。

5）光泽及透明度：蜡状光泽至油脂光泽；玻璃光泽。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.540～1.590(＋0.010，－0.002)；双折射率为 0.050，集合体不可测。

8）多色性：集合体不显示多色性。

9）荧光：长波紫外线下无荧光或具弱粉红荧光。

10）吸收光谱：无特征吸收谱。

11）解理及断口：集合体不显示解理；参差状断口。

12）摩氏硬度：1～3。

13）密度：2.75(＋0.05，－0.55)g/cm^3。

14）放大检查：常含有脉状、斑块状杂质。

15）其他：手感滑润。

2. 宝石学资料

滑石摩氏硬度太低，一般仅用于做雕刻材料。

3. 产状与产地

多见于火成岩和低级变质岩中，由橄榄石、辉石和角闪石等变化而来，常与白云石、绿泥石、蛇纹石等矿物共生。多为超基性岩蚀变的产物，也产于火成岩与白云石大理岩的接触带及区域变质岩中。著名产地有印度、澳大利亚、加拿大、原苏联等，我国山东、广西均有滑石产出。

（二十一）柱晶石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：柱晶石（Kornerupine）。

2）化学成分：$Mg_3A_{l6}(Si,Al,B)_5O_{21}(OH)$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体多呈柱状。

4）颜色：常呈黄绿至褐绿色（见图 3-3-55）、蓝绿色、黄色、褐色，少数情况下呈无色。


图 3-3-55 绿色柱晶石原石

5）光泽及透明度：玻璃光泽；半透明—透明。

6）光性：二轴晶，负光性，可呈一轴晶干涉图假象。

7）折射率与双折射率：折射率为1.667～1.680(±0.003)；双折射率为0.012～0.017。

8）多色性：褐绿色柱晶石具强多色性，多色性颜色为绿色、黄色和红褐色。

9）荧光：在紫外线下荧光强度多变，可从无到强，荧光为黄色。

10）吸收光谱：可具503nm吸收带。

11）解理：可具两组完全解理。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：3.30(+0.05，－0.03)g/cm³。



图3-3-56 蓝色柱晶石刻面

14）放大检查：可见气液包体和固态包体、针状包体。

15）其他：可具猫眼效应，偶见星光效应。

2. 宝石学资料

常见具猫眼效应的弧面宝石，少部分可磨成刻面宝石（见图3-3-56），由于稀有，柱晶石经常作为收藏石，但是现在已经被越来越多的人所认知。

3. 产状与产地

产于结晶片岩、伟晶岩及其砂矿中。主要产地有缅甸、东非、马达加斯加、斯里兰卡。

（二十二）苏纪石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硅铁锂钠石（sugilite）。

2）化学成分：$(K,Na)(Na,Fe)_2(Li,Fe)Si_{12}O_{30}$。

3）晶系及结晶习性：六方晶系，单晶罕见，常为半自形粒状集合体（见图3-3-57）。

4）颜色：红紫色、蓝紫色，少见粉红色。

5）光泽及透明度：蜡状光泽至玻璃光泽；半透明—不透明。

6）光性：一轴晶，负光性。



图3-3-57 苏纪石原石

7）折射率与双折射率：折射率为1.607～1.610(+0.001，－0.002)，点测折射率通常为1.61，但有时由于其内部的石英杂质会测到1.54的低值；双折射率为0.003。

8）荧光：无至中，短波下蓝色。

9）吸收光谱：在550nm处有强吸收带，411nm，419nm，437nm和445nm有吸收线。这个吸收光谱是锰和铁共同作用的结果。

10）解理及断口：无解理；不平坦状断口。

11）摩氏硬度：5.5～6.5。

12）密度：2.74(+0.05)g/cm³。

13）放大检查：深紫色体色是主要鉴定特征。

2. 宝石学资料

可用于切磨弧面宝石、珠子和雕件（见图3-3-58）。

3. 产状与产地

产于霓石正长岩的小岩珠中。早在1944年日本就发现了苏纪石，但直至1979年，由于部分韦塞尔锰矿的崩塌南非才

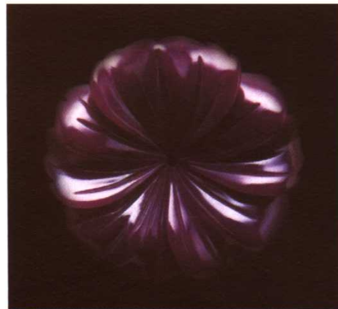


图3-3-58 苏纪石雕刻成品

发现达到宝石级的苏纪石。

（二十三）异极矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：异极矿（Hemimorphite）。

2）化学成分：$Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体为板状，集合体为肾状、皮壳状、放射状、钟乳状、纤维状、球状等（见图 3-3-59）。



图 3-3-59 异极矿集合体

4）颜色：通常无色或淡蓝色，也可呈白、灰、浅绿、浅黄、褐、棕等色（见图 3-3-60）。

5）光泽及透明度：玻璃光泽，解理面具珍珠光泽；透明到不透明。

6）光性：二轴晶，正负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.616～1.634；双折射率为 0.022。

8）多色性：集合体不可见。

9）解理及断口：{110}完全，{101}稍差；断口参差状到贝壳状。

10）摩氏硬度：4.5～5。

11）密度：3.4～3.5g/cm^3。

12）特殊光学效应：未见。



图 3-3-60 抛光异极矿成品

2. 产状与产地

（1）产状

主要产于铅锌矿床的氧化带，是一种次生氧化矿物，呈脉状产出。通常产于石灰岩内与闪锌矿、菱锌矿、白铅矿、褐铁矿等共生，有时呈萤石、菱锌矿、方解石、方铅矿假象。

（2）产地

美国、墨西哥、刚果、德国、奥地利等。中国云南、广西、贵州等省（区）也有产出。

（二十四）丁香紫玉（锂云母岩）

1. 矿物学特征

1）矿物名称：主要组成矿物是锂云母（Lepidolite），其次有少量锂辉石、钠长石、石英和铯榴石等。

2）化学成分：K $[Li_{2-x}Al_{1+x}(Al_{2x}Si_{4-2x}O_{10})F_2]$，其中 x=0～0.5。锂云母是含挥发性物质(OH、F)的钾锂铝硅酸盐，含有一定量 Rb、Cs、Na、Mg、Mn 等，F 的质量分数可达 5%～8%。



图 3-3-61 丁香紫玉

3）晶系及结晶习性：云母属单斜晶系，其单晶呈鳞片状，集合体常呈厚板状或短柱状的假六方形（见图 3-3-61）。

4）颜色：呈丁香紫色、玫瑰紫色。

5）光泽及透明度：玻璃光泽；透明及微透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：单晶锂云母的折射率为 n_g=1.556～1.610，n_m=1.554～1.610，n_p=1.535～1.570，集合体点测法为 1.54～1.56。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：未见特征光谱。

10）摩氏硬度：2～3。

11）密度：2.8～2.9g/cm^3。

2. 宝石学资料

丁香紫玉简称丁香紫，是 20 世纪 70 年代末期在我国发现的一个玉石新品种。它由致密锂云母岩组成，因颜色呈丁香花般的美丽紫色，故而得名。

与丁香紫易混的宝玉石品种不多，仅在颜色上丁香紫与紫色萤石、紫色水晶有相似之处，但是后二者在硬度、折射率等物性常数上与丁香紫有着明显的差异。另外，后二者是单晶矿物，而丁香紫则是矿物集合体，因此在正交偏光镜下仔细观察是不难区分的。

优质丁香紫要求颜色鲜艳，块体致密无棉绺，具有一定尺寸。由于丁香紫硬度较低、易琢磨和抛光，因此加工后的成品光洁照人，色泽十分柔和。目前发现最大的块体直径达50cm，通常小的直径仅有几厘米。优质丁香紫玉用来生产戒面、项珠等首饰，大部分普通玉料用来雕琢玉器，如人物、鸟兽及各种摆件等。

3. 产状及产地

丁香紫玉产于钠—锂型花岗伟晶岩中，为花岗伟晶岩交代作用后期的产物，其中的共生矿物有钠长石、艳榴石、锂辉石、石英等。这种玉最初发现于新疆，分布于天山、阿尔泰山等地，如哈密地区。继新疆之后，陕西也发现了丁香紫玉。

第三节　其他盐类

一、硼酸盐

（一）硼锂铍矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硼锂铍矿（Rhodizite）。

2）化学成分：$CsAl_4LiBe_3B_{12}O_{28}$。

3）晶系及结晶习性：等轴晶系，晶体一般呈菱形十二面体和四面体或两种单形的聚形（见图 3-3-62），大小一般可达 2cm。

4）颜色：无色、浅黄、灰色，但以玫瑰红居多。

5）光泽与透明度：玻璃光泽—弱金刚光泽；半透明—透明。

6）光性：均质体。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.693；无双折射率。

8）多色性：无多色性。

9）荧光：短波紫外线下呈弱黄色，X 射线下发强绿色和黄色。

10）解理及断口：罕见解理；贝壳状断口；性脆。

11）摩氏硬度：8～8.5。

12）密度：3.44g/cm^3。



图 3-3-62　硼锂铍矿

13）其他：在冷酸中不溶。

2. 宝石学资料

成品宝石可晶莹无瑕，一般重量在0.6ct以上者罕见。

美国的华盛顿斯密逊博物馆有珍品收藏。

3. 产状与产地

产于含银的伟晶岩，与锂辉石、电气石共生，是一种非常罕见的矿物，一般作为收藏。主要产地有俄罗斯的乌拉尔山地区及非洲的马达加斯加。

（二）硼铍石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硼铍石（Hambergite）。

2）化学成分：$Be_2BO_3(OH)$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，柱状晶体（见图3-3-63）。



图3-3-63 硼铍石晶体

4）颜色：无色、白色、灰白、黄白色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.628～1.631，n_m=1.587～1.591，n_p=1.554～1.560；双折射率为0.074。

8）多色性：不明显。

9）荧光：可具弱的橙粉红色荧光。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）解理及断口：{010}解理完全，{100}中等。

12）摩氏硬度：7.5。

13）密度：2.365g/cm^3。

14）放大检查：有管状包体。

2. 宝石学资料

用作首饰的常为无色透明晶体，琢型为圆钻型。

3. 产状及产地

在正长伟晶岩和碱性伟晶岩中与长石、黑云母、绿柱石、白钨矿共生。宝石级硼铍石目前仅发现于马达加斯加。

（三）方硼石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：方硼石（Boracite）。

2）化学成分：$Mg_3(B_7O_{12})OCl$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，265℃以上转变为高温变体β-方硼石（等轴晶系）。方硼石常按β-方硼石常呈等轴立方体和四面体或菱形十二面体（见图3-3-64）聚形假象，集合体呈粒状、纤维状、羽毛状，晶体小而等长。



图3-3-64 方硼石呈β-方硼石副象

4）颜色：无色、白色或稍带灰、黄、绿色。

5）光泽与透明度：强玻璃光泽—金刚光泽；透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.668～1.673，n_m=1.662～1.667，n_p=1.658～1.662；双折射率为0.01～0.011。

8）多色性：弱。

9）荧光：短波紫外线下有弱的淡绿色荧光或无荧光。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）断口：贝壳状至不平坦。

12）摩氏硬度：7～7.5。

13）密度：2.97～3.1g/cm^3。

2. 宝石学资料

无色透明的晶体均可加工成饰物，但以蓝、绿色为佳。

3. 产状与产地

产于海相盐类沉积矿床，晶体较小，多为1～2ct，大于2 ct的较罕见。德国、美国、英国都有产出。

（四）锰方硼石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：锰方硼石（Chambersite）。

2）化学成分：$Mn_3(B_7O_{12})OCl$

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体多呈似等轴四面体状晶体（见图3-3-65），常为不规则的粒状集合体。

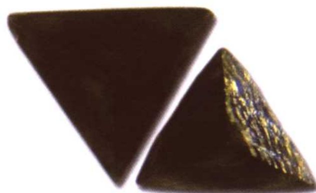


图3-3-65 锰方硼石晶体

4）颜色：白色、微灰、紫色、丁香紫等。

5）光泽与透明度：透明—半透明，油脂光泽—玻璃光泽。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.742，n_m=1.736，n_p=1.732；双折射率为0.010。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：无解理；贝壳状断口。

11）摩氏硬度：7。

12）密度：3.48g/cm^3。

13）其他：具强电磁性。

2. 宝石学资料

晶体透明者少。常用来加工的以紫色半透明晶体为主，琢型为阶梯型。因其硬度大，可作为饰品。

3. 产状与产地

在盐丘中与石盐、硬石膏伴生，或在白云岩中与菱锰矿等共生。优质品种在美国德克萨斯州有发现，在中国河北亦有产出。

（五）硼铝镁石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硼铝镁石（Sinhalite）。

2）化学成分：$MgAlBO_4$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体柱状，但少见，多呈粒状集合体。

4）颜色：黄色—深褐，浅绿—褐色（见图3-3-66）。



图3-3-66 硼铝镁石

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.668～1.707(＋0.005，－0.003)；双折射率为0.036～0.039。

8）多色性：中等，淡褐—绿褐—深褐。

9）荧光：紫外荧光惰性。

10）吸收光谱：蓝和蓝绿区有四条吸收带：493nm、475nm、463nm、452nm，具有鉴别意义，据此可与橄榄石区分。

11）解理及断口：不完全解理；贝壳状断口。

12）摩氏硬度：6～7。

13）密度：3.48(±0.02)g/cm³。

14）与其他相似的宝石的区别：外观有些像钻石，但电气石、钻石和金绿宝石可根据折射率与比重来与之区分。而与橄榄石的区分除了折射率高于橄榄石外，其负光性非常明显，而且吸收光谱也不同。橄榄石在蓝绿区有3条谱线，而硼铝镁石有4条，在463nm处有一条附加谱线。

2. 宝石学资料

小面型，晶体透明无瑕者为佳，颜色类似黄水晶、橄榄石、锆石。

3. 产状与产地

产于石灰岩与花岗岩的接触地带，多在河床的砾石中发现。宝石级的晶体主要产于斯里兰卡，但最初人们把它误以为是橄榄石的褐色变种，直到20世纪50年代才确定为硼铝镁石。缅甸发现有比较好的结晶体。

（六）钠硼解石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：钠硼解石（Ulexite）。

2）化学成分：$NaCaB_5O_6(OH)_6 \cdot 5H_2O$。

3）晶系及结晶习性：三斜晶系，常呈毛发状、纤维状、结核状、块状（见图3-3-67）。

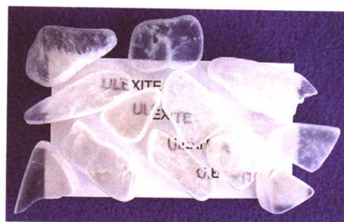


图3-3-67 钠硼解石

4）颜色：白色、无色。

5）光泽与透明度：玻璃—绢丝光泽；透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.519，n_m=1.505，n_p=1.496；双折射率为0.023。

8）荧光：短波紫外线下呈蓝绿色荧光，多数有磷光。

9）解理及断口：{010}、{110}完全。

10）摩氏硬度：2.5。

11）密度：1.96g/cm³。

12）其他：性脆，手指能捏成粉末，有滑感。

2. 宝石学资料

因无美丽的颜色及硬度小，用作宝石的少。但因其稀少，并且根据其纤维状构造可琢磨成具有猫眼效应的弧面宝石作为收藏品。

3. 产状与产地

干旱地区内陆湖相化学沉积产物，常与石盐、芒硝、石膏等伴生。主要产地有美国、阿根廷、秘鲁、智利和俄罗斯，但优质晶体产于美国。

（七）多水硼镁石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：多水硼镁石（Inderite）。

2）化学成分：$Mg(H_2O)_5(B_2BO_3)(OH)_5$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，我国的多为扁柱状或针状晶体（见图3-3-68），有时也成板状。



图3-3-68 多水硼镁石

4）颜色：无色、白色、粉红。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，解理面珍珠光泽；透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.504～1.507，n_m=1.488～1.493，n_p=1.486～1.489；双折射率为0.018。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：一组解理完全，{110}中等；贝壳状断口；性脆。

11）摩氏硬度：2.5～3。

12）密度：1.77～1.79g/cm³。

2. 宝石学资料

因其硬度不高，一般不作为装饰品，以收藏为主。作为稀有宝石，多水硼镁石晶体可达50ct，但只能用作收藏，并且因其结构与性质的原因，需放在干燥处以免刻面易变成磨毛或云雾状。

3. 产状与产地

产于硼矿床，与水方硼石共生于红土中。主要产地有哈萨克斯坦、美国加州，在我国的内陆盐湖中亦发现。

（八）硼铝石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：硼铝石（Jeremejevite）。

2）化学成分：$Al_6B_5O_{15}(OH)_3$。

3）晶系及结晶习性：六方晶系，晶体为柱状（见图3-3-69），常呈三连晶产出。



图3-3-69 硼铝石

4）颜色：淡蓝绿、淡黄、褐或无色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=1.648，n_e=1.641；双折射率为0.007。

8）多色性：黄蓝或无色、亮黄色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：500nm处有一模糊吸收带。

11）摩氏硬度：6.5。

12）密度：3.28～3.31g/cm^3。

2. 宝石学资料

因其硬度较大，色美且稀少，为珍贵宝石。目前所知较大的刻面型宝石有5ct重，一般为1～2ct。晶体的颜色以蓝绿色为佳。

3. 产状与产地

形成于泥煤层下的花岗岩中。主要产地有俄罗斯西伯利亚地区和非洲的纳米比亚，后者产出的宝石级硼铝石更多一些。

（九）羟硅硼钙石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：羟硅硼钙石（Howlite），又名软硼钙石。

2）化学成分：$Ca_2B_5SiO_9(OH)_5$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，板状晶体，常呈块状集合体（见图3-3-70）。



图3-3-70 羟硅硼钙石

4）颜色：白色、灰白色，常具深灰色和黑网脉。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；半透明—不透明。

6）光性：二轴晶负光性，常为非均质集合体。

7）折射率与双折射率：折射率为1.586～1.605(±0.003)，点测法通常为1.59；双折射率为0.019。

8）多色性：无。

9）荧光：长波紫外线下呈褐黄色；短波紫外线下为弱至中等，橙色。

10）吸收光谱：不特征。

11）解理及断口：无。

12）摩氏硬度：3～4。

13）密度：2.58(－0.13)g/cm^3。

14）放大检查：可见深灰色或黑色蛛网状脉。



图3-3-71 染色羟硅硼钙石（仿绿松石）

2. 优化处理

易着色，可染成绿色（模仿绿松石）（见图3-3-71）、蓝色（模仿青金石）等颜色。颜色非天然分布，集中于网脉中，会褪色。滤色镜下成粉或红色。

3.宝石学资料

羟硅硼钙石尽管硬度很低，但经得起抛光，时常用作装饰性宝石。

4. 产状与产地

主要产于盐湖或硼酸盐矿中，与石膏、硬石膏等共生。美国是宝石级羟硅硼钙石主要产地。

二、碳酸盐

（一）菱镁矿

1. 矿物学特征

1）矿物学名称：菱镁矿（Magnesite）。

2）化学成分：$MgCO_3$。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，晶体少见，经常呈晶粒状或隐晶质致密块状体（见图 3-3-72）。



图 3-3-72 菱镁矿晶体

4）颜色：白、灰白、浅黄白、淡红。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；半透明—透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=1.700～1.717，n_e=1.509～1.515；双折射率为0.191～0.202。折射率及双折射率随铁的含量增大而增大。

8）多色性：含 5%CoO 的菱镁矿呈红色和紫红色多色性。

9）荧光：长、短波紫外线下有蓝、绿、白荧光。常有淡绿色磷光。

10）特征光谱：未见。

11）解理及断口：菱面解理发育。

12）摩氏硬度：4～4.5。

13）密度：2.9～3.1g/cm^3，性脆（含铁者比重较大）。

14）与其他相似宝石区别：不溶于冷 HCl，溶于热 HCl，不具有聚片双晶，可区别于方解石与白云石。

2. 宝石学资料

现存最大的一颗菱镁矿重达 134.5ct，在巴西为私人藏品。染色的菱镁矿通常制成珠子，也有加工成形状不规则的或“异形”的扁平抛光薄片，不具绿松石的结构，并且染色剂可沿裂隙富集，透过查尔斯滤色镜可呈现淡褐色。

3. 产状及产地

含镁的热液及化学沉积作用形成，常与方解石、白云石、绿泥石、滑石等共生，但从分布量来看远少于方解石。产地主要有巴西、挪威、奥地利、印度，我国的东北部也有，但宝石级的菱镁矿主要产在巴西。

（二）菱铁矿

1. 矿物学特征

1）矿物学名称：菱铁矿（Siderite）。

2）化学成分：$FeCO_3$。

3）晶系及结晶习性：三方晶系，晶体呈菱面体状，短柱状或偏三角面体状（见图3-3-73），常见的是粒状、块状、致密块状集合体。



图 3-3-73 厚板状菱铁矿晶体

4）颜色：淡黄、灰白、浅褐、棕红、黑色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽、珍珠光泽或绢丝光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=1.782～1.875，n_e=1.575～1.633；双折射率为 0.207～0.202。

8）多色性：无。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）解理及断口：一组解理完全。

12）摩氏硬度：4。

13）密度：3.7～4.0g/cm³。

14）与其他相似宝石的区别：通过其较高折射率及其氧化后表面呈褐色可以与其他有菱面体解理的碳酸盐相区别。

2. 宝石学资料

透明无瑕者稀少。重2ct以上即为珍稀的宝石。

3. 产状与产地

沉积、热液两种方式均可形成菱铁矿，在伟晶岩、安山岩、玄武岩空洞中也有发现。主要产地有葡萄牙、加拿大，但优质晶体产于巴西米纳斯热赖斯。

（三）文石

1. 矿物学特征

1）矿物学名称：文石（Aragonite）。

2）化学成分：$CaCO_3$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，单晶成柱状（见图3-3-74），但多以集合体形式出现，呈纤维状、柱状、晶簇状、皮壳状、豆状、钟乳状、鲕状、球状等。



图3-3-74 柱状文石晶体

4）颜色：白、黄白、浅绿、灰色、红色等。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，断口呈油脂光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性，$2V$=18°。

7）折射率与双折射率：n_g=1.686，n_m=1.682，n_p=1.530；双折射率为0.156。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）特征光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：{010}解理中等至不完全；贝壳状断口。

11）摩氏硬度：3.5～4。

12）密度：2.7～3.0g/cm³。

13）放大检查：常含有棉纱状包体。

2. 宝石学资料

蓝绿色和绿色的比较珍贵，大的刻面宝石有达40～50ct者。

3. 产状及产地

在低温热液及外生作用下形成，主要形成于外生作用。在自然界不稳定，易转变为方解石。产地主要有智利、希腊、意大利、墨西哥等。

（四）蓝铜矿

1. 矿物学特征

1）矿物学名称：蓝铜矿（Azurite）。

2）化学成分：$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体为短柱状或厚板状（见图3-3-75），多以集合体形式存在，呈放射状、块状纤维状、钟乳状和土状。



图3-3-75 板状蓝铜矿晶体

4）颜色：深蓝色、天蓝—深蓝色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶。

7）折射率与双折射率：n_g=1.838，n_m=1.758，n_p=1.730；双折射率为0.108。

8）多色性：有明显蓝色二色性。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）解理及断口：{011}、{100}解理完全或中等，但限于内部；贝壳状断口。性脆。

12）摩氏硬度：3.5～4。

13）密度：3.7～3.9g/cm³。

14）与其他相似宝石区别：颜色是其典型特征，溶于酸，双折射值高可与其他蓝色矿物相区别，与孔雀石等氧化带矿物共生。

2. 宝石学资料

因其具柔软性，易抛光，但一般作为装饰用品，较少用作宝石。已知透明晶体的宝石个体都小于1ct。

3. 产状及产地

产于铜矿床氧化带，常与孔雀石共生和伴生。优质晶体的产地主要是美国、纳米比亚、乌拉尔山，我国广东亦有发现。

（五）白铅矿

1. 矿物学特征



图3-3-76 厚板状白铅矿晶体

1）矿物学名称：白铅矿（Cerussite）。

2）化学成分：$PbCO_3$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体少见，多为板状（见图3-3-76）、片状；集合体为致密块状、粒状、钟乳状。

4）颜色：白色、灰色、绿色、黄色、无色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽—金刚光泽；不透明—微透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=2.076，n_m=2.074，n_p=1.803；双折射率为0.273。

8）多色性：无。

9）荧光：长波紫外线下粉红色或黄色色调，短波紫外线下发蓝色或绿色。

10）特征光谱：未见。

11）解理及断口：{110}、{021}中等至不完全。性脆。

12）摩氏硬度：3～3.75。

13）密度：6.4～6.6g/cm³。

14）特殊光学效应：猫眼效应。

15）鉴定特征：与其他相似的碳酸盐相比，具有很强的光泽和很大的比重；与光泽较强的铅钒相比，则具有非常大的双折射率。

2. 宝石学资料

透明者可加工为刻面宝石，有具猫眼效应的品种，但因其硬度低，一般作为收藏。

现保存于加拿大的世界最大白铅矿宝石晶体为1.26ct，产于非洲楚梅布。

3. 产状及产地

产于铅锌矿床氧化带中。产地有非洲楚梅布、美国等。

（六）碳酸钡矿

1. 矿物学特征


图 3-3-77 碳酸钡矿

1）矿物名称：碳酸钡矿（Witherite）。

2）化学成分：$BaCO_3$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，晶体为短柱状、板状（见图3-3-77），晶面有水平花纹，集合体呈致密块状、柱状、纤维状、葡萄状。

4）颜色：白色、灰色、浅黄、褐色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，断口为油脂光泽；半透明—透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.677，n_m=1.676，n_p=1.529；双折射率为0.148。

8）荧光：紫外线下可具绿、黄色荧光。

9）解理及断口：{010}中等，{110}、{012}不完全，性脆。

10）摩氏硬度：3～3.5。

11）密度：4.2～4.3g/cm³。

2. 宝石学资料

优质的晶体呈淡黄色、浅黄色可加工成刻面宝石。

3. 产状及产地

除重晶石外，碳酸钡矿是自然界分布最广的含钡矿物，常见于低温热液矿床中，与重晶石、方解石、白云石、方铅矿共生。主要产地有美国、奥地利、捷克和斯洛伐克、法国、日本等。

（七）角铅矿

1. 矿物学特征


图 3-3-78 角铅矿

1）矿物名称：角铅矿（Phosgenite）。

2）化学成分：$Pb_2CO_3Cl_2$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，晶体为柱状（见图3-3-78）、厚板状及粗大粒状等。

4）颜色：无色、白、淡黄、粉红、浅褐、绿等。

5）光泽与透明度：金刚光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_o=2.1181，n_e=2.1446；双折射率为0.026。

8）多色性：弱淡红—淡绿。

9）荧光：紫外线下呈黄色的弱荧光。

10）解理及断口：{001}、{110}中等，{100}不完全。

11）摩氏硬度：2～3。

12）密度：6.13g/cm³。

2. 宝石学资料

常见加工宝石为黄褐色，多为收藏品。已知的最大宝石重量不到2ct。

3. 产状及产地

为铅矿床氧化带的次生矿物，常与白铅矿、铅矾矿共生。优质晶体产于意大利萨丁岛、非

洲楚梅布，美国、英国、澳大利亚等国也有产出。

（八）斜钠钙石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：斜钠钙石（Gaylussite）。

2）化学成分：$Na_2Ca(H_2O)_5(CO_3)_2$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体呈扁平状、楔状（见图 3-3-79）。



图 3-3-79 楔状斜钠钙石晶体

4）颜色：无色、白、灰、黄色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.522，n_m=1.516，n_p=1.445；双折射率为 0.077。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：{110}完全，{001}不完全；贝壳状断口。

11）摩氏硬度：2.5～3。

12）密度：1.99g/cm³。

2. 宝石学资料

一般作为收藏品，表面易脱水变成白色。

3. 产状及产地

产于富硼砂的蒸发矿床或盐湖中。主要产地有美国、中国、肯尼亚。

三、磷酸盐

（一）磷钠铍石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：磷钠铍石（Beryllonite）。

2）化学成分：$NaBe(PO_4)$。



图 3-3-80 磷钠铍石

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，常见板、短柱状晶体（见图 3-3-80）。

4）颜色：常见白色、淡黄色或无色及淡绿色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽—油脂光泽，解理面呈珍珠光泽；透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.604～1.601，n_m=1.601～1.558，n_p=1.595～1.592；双折射率为 0.010。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：{010}解理完全，{100}解理中等；贝壳状断口。

11）摩氏硬度：5.5～6。

12）密度：2.877g/cm³。

2. 宝石学资料

宝石级透明晶体现仅发现于美国缅因州。

3. 产状与产地

主要形成于交代作用发育的伟晶岩中，与石英、钠长石、白云母、电气石、烟水晶等共生。产地有美国。

（二）天蓝石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：天蓝石（Lazulite）。

2）化学成分：$MgAl_2(PO_4)_2(OH)_2$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，斜方柱晶类，晶体少见，常呈尖锥状、板状；集合体呈粒状、致密块状等（见图3-3-81）。



图3-3-81 天蓝石

4）颜色：常见蓝色、紫蓝色，含白色斑点。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；半透明—不透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.612～1.643；双折射率为0.031。

8）多色性：明显，微紫—深蓝色及无色—浅蓝色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：不明显。

11）解理及断口：不清晰。

12）摩氏硬度：5～6。

13）密度：3.09(+0.08，−0.01)g/cm^3。

14）其他：微溶于盐酸。

2. 宝石学资料

质地纯净重量为1～2ct者，可作为高中档宝石。相似的深蓝色宝石有天青石，可根据二者的折射率加以区分，后者低；比重明显高于绿松石，比绿松石透明度高。

3. 产状与产地

产于花岗伟晶岩或石英脉中。主要产地有奥地利、北加罗林岛、美国佐治亚州、瑞士、瑞典、马达加斯加、巴西等，优质晶体来自美阿拉斯加、印度、巴西等地。

（三）光彩石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：光彩石（Augelite）。

2）化学成分：$Al_2PO_4(OH)_3$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系、斜方柱晶类，晶体呈柱状、板状及针状，集合体为块状（见图3-3-82）。



图3-3-82 光彩石

4）颜色：无色、白、浅黄、浅红、浅蓝。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，解理面具丝绢光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性，2V=50°49′。

7）折射率与双折射率：n_g=1.588，n_m=1.576，n_p=1.574；双折射率为0.014。

8）多色性：弱。

9）荧光：在紫外线下荧光惰性。

10）解理及断口：两组完全解理，一组为良好的柱面解理，一组为轴面解理；参差状断口。性脆。

11）摩氏硬度：5～5.5。

12）密度：2.70g/cm³。

13）相似宝石及区别：与绿松石，可根据解理与光性区分；与拉长石，根据双折射率区分。

2. 宝石学资料

宝石车工：翻形，顶部翻角42°，底部翻角43°3′。

3. 产状及产地

产于红柱石矿床中，常与块磷铝矿、红橙石、天蓝石等共生。优质光彩石晶体产于美国加州莫诺县的“冠军”矽线石矿山，其他产地有玻利维亚等。

（四）独居石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：独居石（Monazite）。

2）化学成分：$CePO_4$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体较小，多呈楔形、板状（见图3-3-83）。



图3-3-83 独居石与叶钠长石共生

4）颜色：棕红色、黄色、黄绿。

5）光泽与透明度：油脂光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.840～1.850，n_m=1.780～1.791，n_p=1.780～1.790；双折射率为0.04～0.07。

8）多色性：弱。

9）解理及断口：{100}中等，{001}完全。性脆。

10）摩氏硬度：5～5.5。

11）密度：4.9～5.5g/cm³。

2. 宝石学资料

透明者可加工成宝石，但一般个体很小。大的已知有5ct的，黄色。

3. 产状及产地

多产于花岗岩、伟晶岩及其有关的矿床中。优质的独居石晶体来自美国科罗拉多和怀俄明州、马达加斯加、瑞士、玻利维亚等。

（五）磷铍钙石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：磷铍钙石（Herderite）。

2）化学成分：$CaBePO_4(F,OH)$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，柱状、板状晶体（见图3-3-84、图3-3-85）。

4）颜色：常见浅蓝、浅绿色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。


图 3-3-84 磷铍钙石呈假六方板状


图 3-3-85 磷铍钙石平行连晶

7）折射率与双折射率：n_g=1.632～1.614，n_m=1.611～1.616，n_p=1.604～1.591；双折射率为 0.023～0.028。

8）多色性：弱。

9）荧光：短波紫外线下呈淡绿色，长波紫外线下呈紫色，并有磷光。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）摩氏硬度：5.5。

12）密度：2.85～3.01g/cm³。

2. 宝石学资料

珍品收藏：1～2ct 即为珍品，目前最大的宝石为 5.9ct，收藏在美国。

3. 产状与产地

产于花岗伟晶岩中，为晚期热液矿物。宝石级晶体主要产于巴西、美国。

（六）蓝铁矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：蓝铁矿（Vivianite）。

2）化学成分：$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，斜方柱晶类，常见单形有斜方柱、平行双面；晶体呈柱状或针状（见图 3-3-86）。一般呈放射状、肾状、球状集合体或土状块体。


图 3-3-86 柱状蓝铁矿晶体

4）颜色：无色、浅蓝、浅绿、深蓝。

5）透明度与光泽：玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽；透明至半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.629～1.675，n_m=1.602～1.656，n_p=1.576～1.616；双折射率为 0.053～0.056。

8）多色性：强，蓝、淡黄绿、白、暗蓝、淡蓝绿、淡黄绿。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：不明显。

11）解理及断口：{010}一组解理完全。性脆。

12）摩氏硬度：1.5～2。

13）密度：2.95g/cm³（实测），2.71g/cm³（计算）。

2. 宝石学资料

由于硬度低，性脆，很难加工、抛光。多为珍藏宝石。

3. 产状及产地

在还原环境下形成，分布于富磷的沉积铁矿与泥炭沼泽中。在美国爱达荷州、弗吉尼亚州和犹他州有产出，优质宝石级蓝铁矿产于玻利维亚及喀麦隆。

（七）磷铝锰矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：磷铝锰矿（Eosphorite）。

2）化学成分：$MnAl(H_2O)[PO_4](OH)_2$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系、斜双锥晶类单晶，呈柱状（见图3-3-87），集合体多为放射状、葡萄状或皮壳状，具有粗的纤维状结构，块状集合体少见。双晶常见。



图 3-3-87 磷铝锰矿

4）颜色：褐色、浅红褐色、黄色、玫瑰色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽—油脂光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.667～1.671，n_m=1.660～1.664，n_p=1.638～1.639；双折射率为0.029。

8）多色性：明显，黄、粉红、淡粉红。

9）吸收光谱：在410nm处有明显的吸收谱线；在490nm处有弱吸收线。

10）解理及断口：少见。

11）摩氏硬度：5。

12）密度：3.05g/cm^3。

2. 宝石学资料

已知的宝石多为粉红色，最大宝石的重量为3～4ct，以刻面宝石为主。

3. 产状及产地

产于花岗伟晶岩，常与菱锰矿、锰磷铝矿等共生。宝石级粉红色晶体仅产于巴西，呈柱状。

（八）水磷铝钠石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：水磷铝钠石（Wardite）。

2）化学成分：$NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 2H_2O$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，单晶为柱状（见图3-3-88），集合体呈粒状、皮壳状、束状、放射状、纤维状和具同心圆的球状。



图 3-3-88 水磷铝钠石

4）颜色：无色、白色、浅绿至浅黄绿色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_o=1.586～1.594，n_e=1.595～1.604；双折射率为0.009。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：{001}解理完全。性脆。

11）摩氏硬度：4.5～5。

12）密度：2.87g/cm³。

2. 宝石学资料

透明宝石罕见，已知的刻面宝石最大重2～3ct，弧面宝石以浅色的为主。

3. 产状及产地

常与水磷铝碱石、纤磷钙石伴生，产于花岗伟晶岩中，或为锂磷铝石的蚀变产物。用作宝石刻面者少见，多为蛋圆宝石。产于美国犹他州，新罕布什尔和巴西帕拉伊巴州。

（九）磷铝钠石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：磷铝钠石（Brazilianite）。

2）化学成分：$NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，柱状晶体（见图3-3-89）。近于粒状，柱面有垂直于 *Z* 轴的条纹（横纹）。



图 3-3-89　短柱状磷铝钠石晶体

4）颜色：淡蓝、黄绿、绿或无色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.602～1.621(±0.003)；双折射率为0.019～0.021。

8）多色性：弱，黄绿、绿。

9）解理及断口：有良好的轴面解理，{010}中等；贝壳状断口。性脆。

10）摩氏硬度：5～6。

11）密度：2.97(±0.03)g/cm³。

12）其他：不溶于盐酸，很难熔融。

2. 宝石学资料

无色及黄色透明晶体为珍贵宝石。可加工成小面型或阶梯型，多用于收藏。目前最大的琢型宝石重41.9ct，藏于美国。

3. 产状及产地

产在富含磷酸盐矿物的伟晶岩脉中，产于伟晶岩的晶洞中，为热液矿物。主要产地为巴西米纳斯，有大到12 × 8cm的大晶体。因最早发现于巴西，也叫“巴西石”。

（十）磷铝锂石

1. 矿物学特征

1）矿物学名称：磷铝锂石（Amblygonite）。

2）化学成分：$(Li,Na)Al(PO_4)(OH,F)$。

3）晶系及结晶习性：三斜晶系，短柱状（见图3-3-90）或致密块状集合体，聚片双晶常见。



图 3-3-90　短柱状磷铝锂石晶体

4）颜色：变化较大，白、蓝、粉红、蓝绿乃至褐色，透明石料近于无色、浅黄到微绿黄色，很像锂辉石。

5）光泽与透明度：玻璃光泽—油脂光泽，解理面呈珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.612～1.636(－0.034)；双折射率为0.020～0.027。

8）多色性：无至弱，因颜色而异。

9）荧光：紫外线下可具极弱的绿色。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）解理及断口：{100}、{110}解理完全。

12）摩氏硬度：5～6。

13）密度：3.02(±0.04)g/cm^3。

14）放大检查：常有液态类型的包体和云雾状条带。

15）其他：粉末可缓慢溶于HCl。

2. 宝石学资料

橙色、黄色、无色居多，一般大小在0.2ct以上。可用于佩戴，但由于其耐磨性差，透明晶体颜色偏淡，目前以收藏居多。

3. 产状及产地

宝石级晶体产在伟晶岩中，与电气石、石英、磷灰石、锂云母和锂辉石伴生。产地主要为巴西，其次是美国(加州、缅因州等)、德国（萨克森地区）、西班牙（塔斯）等。

（十一）磷铝石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：磷铝石（Variscite）。

2）化学成分：$AlPO_4 \cdot 2H_2O$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，晶体少见，偶见斜方双锥（假八面体）晶形或细粒状，而多呈胶态出现，如皮壳状、结核状、肾状等（见图3-3-91、图3-3-92）。



图3-3-91 磷铝石

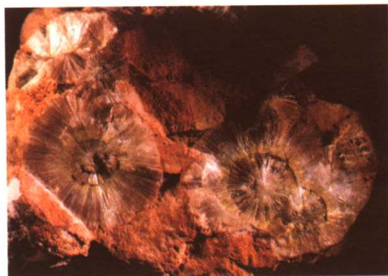


图3-3-92 磷铝石放射状集合体

4）颜色：无色、白色、浅红、绿、黄、天蓝色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽、油脂光泽；半透明。

6）光性：二轴晶，负光性，2V=70°。

7）折射率与双折射率：n_g=1.590，n_m=1.577，n_p=1.564；双折射率为0.026。

8）吸收光谱：红区中有两个吸收带。

9）解理及断口：{010}中等—完全。

10）摩氏硬度：5。

11）密度：2.53～2.58g/cm^3。

2. 宝石学资料

虽有人用磷铝石代替绿松石，但绝不会呈现优质绿松石所具的优美蓝色，比重和折射率与绿松石有明显差异。

3. 产状及产地

产于片岩和板岩中，常与银星石（磷铝钠石）、磷灰石等共生，呈块状或瘤状。主要产地有美国犹他州，德国，奥地利，捷克和斯洛伐克等。

（十二）磷锰石

1. 矿物学特征


图 3-3-93 磷锰石

1）矿物名称：磷锰石（Purpurite）。

2）化学成分：$MnPO_4$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，常见块状集合体（见图 3-3-93），晶体少见。

4）颜色：深红—紫色、深紫色，表面常呈褐黑色。

5）光泽与透明度：半金属光泽；半透明—不透明。

6）光性：二轴晶，光性可正可负。

7）折射率与双折射率：n_g=1.85，n_m=1.86，n_p=1.92；双折射率为 0.007。

8）多色性：多色性强，呈现出灰、玫瑰红，深红、紫红。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）解理及断口：{001}中等；断口不平坦。性脆。

12）摩氏硬度：4～4.5。

13）密度：3.2～3.4g/cm³。

2. 宝石学资料

玫瑰色、紫红色，不透明块体，常用来加工成弧面型。要求颜色均匀。目前大的宝石有数厘米长。

3. 产状及产地

产于花岗伟晶岩中，属于锂蓝铁矿、磷锂矿氧化形成的次生磷酸盐类矿物。主要产地为纳米比亚，紫红色；其他产地还有美国、法国、葡萄牙和澳大利亚等。

（十三）绿磷锰矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：绿磷锰矿（Dickinsonite）。


图 3-3-94 绿磷锰矿

2）化学成分：$H_2Na_6(Mn,Fe,Ca,Mg)_{14}(PO_4)_{12} \cdot H_2O$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶形多呈板状（见图 3-3-94），有时为假菱面体。

4）颜色：浅黄、绿色、橄榄绿色至绿带褐色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，解理面具珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.662～1.671，n_m=1.648～1.658，n_p=1.655～1.662；双折射率为 0.013～0.014。

8）多色性：淡橄榄绿 / 淡黄绿。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：不明显。

11）解理及断口：{001}解理完全；参差状断口。脆性强。

12）摩氏硬度：3.5～4。

13）密度：3.41g/cm³。

2. 宝石学资料

为罕见的绿色宝石。晶体透明，因含Fe而成绿色。加工成的刻面宝石多在1～2ct，非常珍贵，多为收藏品。通过硬度、比重、折射率可与橄榄石等绿色宝石相区分。

3. 产状及产地

产于花岗伟晶岩中，常与磷锰锂矿、菱锰矿等磷酸盐次生矿物伴生。产地主要为美国康涅狄格州，优质晶体为绿色。

（十四）银星石

1. 矿物学特征


图 3-3-95 银星石放射状集合体

1）矿物名称：银星石（Wavellite）。

2）化学成分：$Al_3(PO_4)_2(OH,F)_3 \cdot 5H_2O$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，晶体一般呈柱状但少见，晶体发育良好，大小不等，长的柱状约3～5mm，一般为0.5～1mm。集合体呈球状、放射状（见图3-3-95）。

4）颜色：具黄绿、绿白、暗蓝、黄褐、暗黑、粉红等多种颜色。

5）光泽与透明度：玻璃—松脂光泽，解理面具珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.561～1.545，n_m=1.543～1.526，n_p=1.535～1.520；双折射率为0.025。

8）荧光：紫外线下发蓝色荧光。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：三组解理呈格子状；{110}完全，{010}、{101}中等。

11）摩氏硬度：3.5～4。

12）密度：2.358～2.39g/cm^3。

2. 宝石学资料

绿色为主，多加工成弧面型。

3. 产状及产地

为含磷矿物氧化而成的次生矿物，常产于氧化带中与锌绿松石伴生。优质宝石来自美国阿肯色州，另外玻利维亚、英国、爱尔兰、法国、葡萄牙等地亦有发现。

（十五）板磷铁矿

1. 矿物学特征


图 3-3-96 板状板磷铁矿晶体

1）矿物名称：板磷铁矿（Ludlamite）。

2）化学成分：$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$。

3）晶系及常见晶形：单斜晶系，板状晶形（见图3-3-96），但一般呈楔形，集合体为块状或粒状。

4）颜色：从无色微带绿，苹果绿至鲜绿色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.688～1.697，n_m=1.667～1.675，n_p=1.650～1.653；双折射率为0.038～0.044。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）吸收光谱：无特征吸收光谱。

10）解理及断口：{001}解理完全。性脆。

11）摩氏硬度：3.5～4。

12）密度：3.19g/cm³。

2. 宝石学资料

蓝色及绿色透明晶体，因其颜色近于祖母绿可作为宝石，可作为饰品其成品大小多为1～2ct。

3. 产状及产地

为花岗伟晶岩的原生矿物、铁磷酸岩的蚀变矿物或铁矿床氧化带的次生矿物，常与蓝铁矿伴生。主要产地有美国爱达荷州，产有优美绿色晶体，英国、德国也有产出。

（十六）红磷锰矿

1. 矿物学特征



图 3-3-97 红磷锰矿

1）矿物名称：红磷锰矿（Hureaulite）。

2）化学成分：$Mn_5(PO_4)_2(PO_3(OH))_2 \cdot 4H_2O$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系、斜方柱晶类，晶体常为柱状（见图 3-3-97），集合体呈块状、鳞片状或似纤维状。

4）颜色：变化多样，浅红、紫罗兰色、蔷薇红色、浅黄、棕、橙红、褐橙、浅红褐、灰色或无色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，油脂光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.660，n_m=1.654，n_p=1.647；双折射率为 0.012。

8）多色性：明显，无色、淡红—黄、红黄—褐。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）解理及断口：一组解理完全，{100}中等；参差状断口。性脆。

11）摩氏硬度：3.5。

12）密度：3.23g/cm³。

2. 宝石学资料

透明晶体为收藏品，用作宝石的还不多，多被加工成素面。

3. 产状及产地

是花岗伟晶岩中一种较为常见的次生矿物，常与磷锂石、磷锰锂石、钙磷铁锰矿等伴生。主要产地有美国、法国、葡萄牙等地。

四、硫酸盐

（一）无水钾镁矾

1. 矿物学特征



图 3-3-98 无水钾镁矾

1）矿物名称：无水钾镁矾（Langbeinite）。

2）化学成分：$K_2Mg_2(SO_4)_3$。

3）晶系及结晶习性：等轴晶系，晶体为五角三、四面体晶类，但少见。多以集合体出现，呈粒状、结核状、肾状等（见图 3-3-98）。

4）颜色：常见无色，有时呈淡蓝、玫瑰、微红、淡紫、淡绿或灰色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明。

6）折射率与双折射率：折射率为1.533～1.535；无双折射率。

7）多色性：无。

8）荧光：紫外线下可具极淡的绿白色荧光。

9）摩氏硬度：3.5～4。

10）密度：2.83g/cm^3。

11）其他：性脆，并具压电性。

2. 宝石学资料

无色和淡粉红色透明晶体可做宝石用。一般作为收藏品。

3. 产状及产地

产于海盐层，与石盐、钾盐共生。产地有美国、加拿大、奥地利和印度。

（二）重晶石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：重晶石（Barite）。

2）化学成分：$(Ba,Sr)SO_4$，常含Ca、Sr。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，板状晶体（见图3-3-99、图3-3-100）。粒状、纤维状集合体。



图3-3-99 厚板状重晶石与辰砂伴生



图3-3-100 片状重晶石

4）颜色：浅黄、白至无色。富含Sr的常呈浅蓝色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽—树脂光泽，解理面珍珠光泽；透明—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为1.636～1.648(+0.001，−0.002)；双折射率为0.012。

8）多色性：弱。

9）荧光：有时显示荧光，经常显示磷光，呈微弱的蓝色或浅绿色。

10）解理及断口：两组完全解理，性脆。

11）摩氏硬度：3～4。

12）密度：4.5(+0.10，−0.20)g/cm^3。

13）放大检查：透明宝石中往往很多气液两相包体，德国产的重晶石中曾有透明猩红色的HgS心形晶体。

14）保存注意：因松软且易出现解理，不能用作饰品仅供观赏，且对热非常敏感，在火焰中往往会迸裂，须小心。

2. 宝石学资料

透明无瑕者可加工成刻面型，但要求晶体大于0.6ct。在法国存有65ct的黄褐色晶种。

3. 产状及产地

产于低温热液矿床中。加拿大的不列颠拿伦比亚省和新斯科舍省是重晶石的重要产地，其他产地有美国、英国、法国等。

（三）硬石膏

1. 矿物学特征


图 3-3-101 硬石膏纤维状集合体

1）矿物名称：硬石膏（Anhydrite）。

2）化学成分：$CaSO_4$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，晶体少见，多呈厚板状（见图 3-3-101）。

4）颜色：灰白、浅蓝、紫、粉红色或无色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽；透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.609～1.618，n_m=1.574～1.579，n_p=1.569～1.574；双折射率为 0.04。

8）荧光：紫外线下荧光惰性。

9）解理及断口：{010}、{100}完全，{001}中等。

10）摩氏硬度：3～3.5。

11）密度：2.8～3.0g/cm^3。

2. 产状及产地

主要为化学沉积产物，大量形成在盐湖中，常与石膏伴生。产于墨西哥（蓝色块状）、加拿大（紫色粉红）、瑞士，此外美国、法国、印度、奥地利、波兰等亦有产出。

（四）天青石

1. 矿物学特征

1）矿物名称：天青石（Celestite）。

2）化学成分：$(Sr,Ba)SO_4$。Sr 含量大于 Ba 含量，可含有 Pb、Ca、Fe 等元素。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，板状晶体（见图 3-3-102）。完好晶体少见，多为钟乳状、结核状、细粒状集合体。


图 3-3-102 柱状天青石晶体

4）颜色：蓝、绿、黄绿、橙色或无色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽；透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：折射率为 1.619～1.637；双折射率为 0.018。

8）多色性：弱。

9）荧光：在紫外线下有时呈黄色或蓝色荧光。

10）吸收光谱：不明显。

11）解理及断口：两组完全解理。

12）摩氏硬度：3～3.5。

13）密度：3.87～4.30g/cm^3。

2. 宝石学资料

蓝色较为珍贵，其次为绿、橙、黄及无色透明者。透明的晶簇不需加工即可为收藏品。单晶一般加工成阶梯型或弧面型，大小不到 3ct。由于硬度小，不宜作佩饰，多为收藏。

在加拿大有 20.1ct 的蓝色珍品收藏。

3. 产状及产地

主要来自沉积岩，特别是白云岩及白云质石灰岩，亦见于热液矿脉中。宝石级的晶体产于北美的伊利湖，另外加拿大、纳米比亚、墨西哥、英国、法国、意大利等也有发现。

（五）铅矾

1. 矿物学特征


图 3-3-103 板状铅矾晶体

1）矿物名称：铅矾（Anglesite）。

2）化学成分：$PbSO_4$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，多呈板状（见图3-3-103）、短柱状或锥状，集合体呈粒状、致密块状、结核状、钟乳块等。

4）颜色：无色至白色，常被外来杂质染成灰、浅黄、浅褐或浅绿色。

5）光泽与透明度：金刚光泽；透明—不透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.894，n_m=1.882，n_p=1.877；双折射率为0.017。

8）荧光：紫外线下显弱黄色荧光，无特征吸收光谱。

9）解理及断口：{001}解理中等；贝壳状断口。性脆。

10）摩氏硬度：2.5～3。

11）密度：6.1～6.4g/cm^3。

2. 宝石学资料

无色及淡黄色晶体可作为宝石材料。因色散值较高，与钻石相近，所以常加工成圆钻型。但硬度很低，与钻石很容易区分。

3. 产状及产地

产于铅锌矿床氧化带中。我国的西北有完美的单晶体产出，宝石级晶体来自非洲楚梅布，摩洛哥、突尼斯、美国、英国亦有产出。

五、砷酸盐

（一）羟砷锌矿

1. 矿物学特征


图 3-3-104 羟砷锌矿

1）矿物名称：羟砷锌矿（Legrandite）。

2）化学成分：$Zn_2AsO_4OH \cdot H_2O$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，晶体呈长柱状（见图3-3-104）。

4）颜色：无色到蜡黄色。

5）光泽与透明度：玻璃光泽；透明至—半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.735～1.740，n_m=1.690～1.709，n_p=1.675～1.702；双折射率为0.06。

8）多色性：无色、黄色。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：不明显。

11）解理及断口：{100}中等—不完全；不平坦，断口。性脆。

12）摩氏硬度：4.5。

13）密度：3.98g/cm³。

2. 宝石学资料

一般加工成祖母绿型，作为收藏品。

3. 产状及产地

产于硬而致密的褐铁矿空洞中，与水砷锌矿共生。墨西哥产有 6 × 0.75cm 的精美单晶。

（二）乳砷铅铜矿

1. 矿物学特征

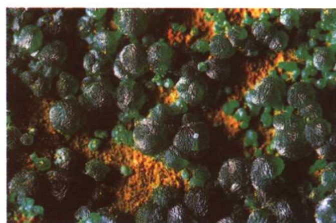


图 3-3-105 乳砷铅铜矿

1）矿物名称：乳砷铅铜矿（Bayldonite）。

2）化学成分：$PbCu_3(AsO_4)_2(OH)_2$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，常呈块状（见图3-3-105），细粒状至粉末状，亦呈皮壳状、结核状。

4）颜色：浅黄绿色。

5）光泽与透明度：松脂光泽；半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.99，n_m=1.97，n_p=1.95；双折射率为 0.043。

8）摩氏硬度：4.5。

9）密度：5.5g/cm³。

2. 宝石学资料

稀少且硬度小，加工成弧面型者，一般用来收藏，色泽漂亮的一般用做首饰宝石。

3. 产状及产地

为含铜矿床氧化带中的次生矿物，与蓝铜矿、砷铅矿、橄榄铜矿一起产出。主要来自纳米比亚楚梅布，英国、法国亦有产出。

（三）臭葱石

1. 矿物学特征



图 3-3-106 臭葱石

1）矿物名称：臭葱石（Scorodite）。

2）化学成分：$FeAsO_4 \cdot 2H_2O$。

3）晶系及结晶习性：斜方晶系，斜方双锥晶类，晶体呈双锥状（见图 3-3-106），常呈粒状集合体，偶呈小晶簇出现。

4）颜色：绿白色、鲜绿色、蓝绿色，少数呈白色，部分水解被染成红褐色。

5）光泽与透明度：松脂光泽；透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=1.78～1.81，n_m=1.77～1.79，n_p=1.76～1.78；双折射率为0.02～0.03。

8）多色性：淡紫、淡蓝。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：450nm 处有吸收线。

11）断口：不平坦。性脆。

12）摩氏硬度：3.5。

13）密度：3.3g/cm^3。

2. 宝石学资料

蓝色、紫色居多。由于硬度小，一般作为收藏品。加工后的最大刻面宝石为5ct。美国华盛顿斯密逊博物馆收藏有2.6ct的紫色晶体，产地为楚梅布。

3. 产状及产地

产于富砷的硫化矿床的氧化带中。宝石级的晶体产于巴西米纳斯热赖斯及纳米比亚楚梅布。

六、钒酸盐

钒铅矿

1. 矿物学特征



图3-3-107 短柱状钒铅矿晶体

1）矿物名称：钒铅矿（Vanadinite）。

2）化学成分：$Pb_2Pb_3(VO_4)_3Cl$。

3）晶系及结晶习性：六方晶系，晶体呈六方柱状（见图3-3-107）、针状或毛发状，集合体为晶簇状、球状。

4）颜色：鲜红、橙红、浅褐红、褐色、浅黄蓝、浅褐蓝。

5）光泽与透明度；金刚光泽，断口松脂光泽；透明—不透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=2.416，n_e=2.350；双折射率为0.066。

8）多色性：弱，橙—黄。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：无特征吸收光谱。

11）摩氏硬度：2.5～3。性脆。

12）密度：6.66～6.88g/cm^3。

2. 宝石学资料

一般用作收藏观赏，大小多为1ct左右。因为色散强，琢型一般为圆钻型。目前最大的刻面宝石为10ct。

3. 产状及产地

产于铝矿床氧化带中的次生矿物。宝石级的晶体主要在美国的亚利桑那州、摩洛哥。

七、钨酸盐

白钨矿

1. 矿物学特征



图3-3-108 白钨矿平行连生

1）矿物名称：白钨矿（Scheelite）。

2）化学成分：$CaWO_4$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，单晶可见，一般多呈不规则的粒状，有时呈块状（见图3-3-108、图3-3-109）。双晶普遍。

4）颜色：无色、灰、浅黄、浅紫、浅褐、绿、橙黄、红色。不含钼或含钼少的白钨矿呈白色。

5）光泽与透明度：油脂光泽或金刚光泽；半透明—透明。

6）光性：一轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_o=1.920，n_e=1.937；双折射率为0.017。

8）多色性：橙黄色晶体具弱二色性。

9）荧光：短波紫外线下有蓝色或黄色荧光。

10）吸收光谱：在黄区、绿区，特别在584nm处有弱钕线。

11）解理及断口：{111}完全，{111}中等，{101}不完全；断口呈参差状。性脆。



图3-3-109 白钨矿与水晶共生

12）摩氏硬度：4.5～5。

13）密度：5.8～6.2g/cm³。

2. 宝石学资料

对热不敏感，几乎不能熔融，因其脆，难加工，透明的晶体琢磨抛光后可显示出相当强的色散，因此多加工成圆钻型。目前收藏最大的晶体为100ct。

3. 产状及产地

产于接触交代矿床、高—中温热液裂隙充填矿床、热液石英脉中。主要产地有美国、德国、意大利、瑞士及我国。作为宝石的少。目前已发现墨西哥产有优质黄色晶体，可生产出大于10ct的琢形宝石，有相当高的价值。

八、铬酸盐

铬铅矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：铬铅矿（Crocoite）。

2）化学成分：$PbCrO_4$。

3）晶系及结晶习性：单斜晶系，斜方柱晶类，晶体呈柱状（见图3-3-110）、锥状、板状晶体，集合体呈晶簇状、块状或薄膜状。



图3-3-110 长柱状铬铅矿晶体

4）颜色：橙红、红、黄。

5）光泽与透明度：金刚光泽；半透明。

6）光性：二轴晶，正光性。

7）折射率与双折射率：n_g=2.66，n_m=2.37，n_p=2.31；双折射率为0.035。

8）多色性：橙红、中红。

9）荧光：短波紫外线下可具弱淡红至褐色荧光。

10）吸收光谱：555nm处有吸收带。

11）解理及断口：{110}中等。性脆。

12）摩氏硬度：2.5～3。

13）密度：6g/cm³。

2. 宝石学资料

透明无瑕及不透明，颜色美丽的晶体可加工成宝石。纯净透明的晶体一般为1～2ct。

3. 产状及产地

表生矿物，常见于矿床的氧化带中。主要产地有澳大利亚的塔斯马尼亚，产有优质的橙色晶体，另外俄罗斯也有产出。

九、钼酸盐

钼铅矿

1. 矿物学特征

1）矿物名称：钼铅矿（Wulfenite）。

2）化学成分：$PbMoO_4$。

3）晶系及结晶习性：四方晶系，四方双锥类，有时呈假八面体或立方柱（见图3-3-111）、锥状晶体。晶体呈板状（见图3-3-112）、薄板状，少数呈锥状晶体。集合体呈粒状。



图3-3-111 柱状钼铅矿晶体



图3-3-112 板状钼铅矿晶体

4）颜色：无色，白色至黑色均有，但最受收藏家欢迎的是红色、橙黄、黄色晶体。

5）光泽与透明度：金刚光泽，断口油脂光泽；透明－半透明。

6）光性：一轴晶，负光性。

7）折射率与双折射率：n_o=2.40，n_e=2.28；双折射率为0.12。

8）多色性：微弱的二色性。

9）荧光：紫外线下荧光惰性。

10）吸收光谱：不明显。

11）解理及断口：{111}完全，{011}中等，{001}、{013}不完全。性脆易碎。

12）摩氏硬度：2.5～3。

13）密度：6.5～7g/cm³。

14）其他：溶于硫酸，可被硝酸分解，对热略敏感。

2. 宝石学资料

因色散强、光泽强，常被加工成圆钻型，但硬度低，多为收藏品，用作首饰的较少。在加拿大卡尔加里狄沃团体，存有15.25ct的黄色晶体，9.44ct的红色晶体。

3. 产状及产地

产于铅锌矿氧化带中，含铅和铝的矿床氧化带内，为锰的次生矿物。主要产地为美国亚利桑那州、非洲楚梅布、墨西哥、欧洲、澳大利亚等。美国产有优质晶体。在美国被称为“荒漠之花”，在亚利桑那州分布广泛，具有美丽的颜色，但不透明，价值较高，有时被制成翻面宝石。钼酸盐常与自然铜、孔雀石、蓝铜矿、白铅矿、重晶石等矿物伴生。

第四章　有机宝石

第一节　珍　珠

珍珠，英文为Pearl，源于拉丁语Pernnla，意思是“海之骄子”。珍珠和其他宝玉石不同，浑圆成型，色彩柔和，珠光照人，洁白清丽，不需琢磨加工就是一件漂亮而珍贵的饰品。自古以来，一直受到人类的珍爱，人们把珍珠誉为宝石“皇后”，是宝石中的一颗璀璨的明珠，也是6月份的生辰石和结婚30周年的纪念石。

一、珍珠的基本性质

（一）宝石名称

珍珠（Pearl）。

（二）化学成分

珍珠除含有大量无机成分外，还含有一定量的有机成分。不同种类和质量的母贝所养殖的珍珠，其化学成分的含量是有差异的。见表3-4-1。

表3-4-1　珍珠的化学成分

单位：w_B/%

成分 \ 类别	天然珍珠	海水养珠	贝壳珍珠	贝壳棱柱层
无机成分	91.49	92.62	92.27	92.57
有机成分	7.07	6.41	3.22	5.32
水	1.78	0.66	0.76	0.69

（据赵前良、周佩玲）

由表3-4-1我们可以看出，珍珠所含的无机成分质量分数占91%以上，主体是碳酸钙（文石和方解石），另有少量的碳酸镁（菱镁矿）。

除此之外还含有Cu、Fe、Zn、Mn、Mg、Cr、Sr、Pb、Na、K、Ti、V、Al、Ag、Co等10多种微量元素。微量元素对珍珠的品质及颜色都会带来影响。就像其他宝石一样，微量元素对珍珠的颜色起着重要的作用。等离子发射光谱仪分析不同颜色淡水珍珠粉中所含金属离子的含量表明（见表3-4-2）：Zn、Ti、V、Ag、Mg、Sr等元素的含量随颜色偏深而增加，其光泽也随之增强，这些金属离子的含量与珍珠的颜色和光泽呈正相关。

珍珠有机成分的主体是壳角蛋白（也称角质蛋白或固蛋白）和各种色素等。

从表3-4-1中可知有机成分质量分数大约占3.5%～7%。淡水养殖珍珠中的壳角蛋白经水解后利用氨基酸自动分析仪测得其中含门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸等多种氨基酸，见表3-4-3。另外各种有机色素也是影响珍珠颜色的重要因素。

表 3-4-2 珍珠粉末中金属离子的含量

单位：$mg\cdot kg^{-1}$

金属离子	珍珠粉样品		
	白色珍珠	橙红色珍珠	紫色珍珠
Cu（铜）	<0.1	<0.1	<0.1
Fe（铁）	<0.1	<0.1	<0.1
Zn（锌）	121	200	945
Mn（锰）	731	566	515
Mg（镁）	40.9	47.9	154
Cr（铬）	<0.1	<0.1	<0.1
Ti（钛）	<0.1	1.35	7.9
V（钒）	<0.1	1.22	1.60
Al（铝）	<0.1	<0.1	<0.1
Ag（银）	<0.1	<0.1	4.1
Co（钴）	0.1	0.1	0.4

注：数据由华东理工大学分析测试中心测试。

表 3-4-3 淡水养殖珍珠中的氨基酸种类及含量

单位：%

氨基酸名称	白色珍珠	橙红色珍珠	黄色珍珠	紫色珍珠
门冬氨酸	0.1950	0.1952	0.1949	0.1951
丝氨酸	0.1637	0.1635	0.1638	0.1637
甘氨酸	0.3722	0.3722	0.3724	0.3721
缬氨酸	0.0776	0.0775	0.0776	0.0774
异亮氨酸	0.0583	0.0584	0.0586	0.0583
酪氨酸	0.0236	0.0235	0.0236	0.0237
赖氨酸	0.0521	0.0520	0.0523	0.0520
精氨酸	0.0999	0.0999	0.0998	0.0999
苏氨酸	0.0508	0.0509	0.0506	0.0509
谷氨酸	0.1184	0.1184	0.1185	0.1184
丙氨酸	0.3473	0.3475	0.3473	0.3473
蛋氨酸	0.0040	0.0040	0.0039	0.0042
亮氨酸	0.1268	0.1268	0.1267	0.1269
苯丙氨酸	0.1227	0.1227	0.1228	0.1228
组氨酸	0.0157	0.0160	0.0158	0.0159
脯氨酸	0.0461	0.0460	0.0463	0.0461
总含量	1.8742	1.8745	1.8749	1.8747

注：表中氨基酸含量是利用 835-50 氨基酸自动分析仪测试的。

马氏珠母贝养殖珍珠的壳角蛋白中氨基酸以甘氨酸、丙氨酸的含量为最高，其次为亮氨酸、谷氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸。不同颜色的珍珠氨基酸含量略有差异（见表 3-4-4）。

表 3-4-4 马氏珠母贝养殖珍珠壳角蛋白中氨基酸的含量

单位：%

样品 / 氨基酸	珍珠				
	粉红色	银白色	铅灰色	铅灰土色	紫铅灰色
甘氨酸	26.4	24.8	27.2	23.6	24.0
丙氨酸	12.4	16.4	13.2	12.4	3.6
亮氨酸	6.4	5.2	6.8	6.0	8.4
苯丙氨酸	4.4	5.2	4.8	5.2	6.0
丝氨酸	3.6	3.2	4.0	3.8	3.0
缬氨酸	4.4	3.2	2.8	4.4	8.0
蛋氨酸	1.2	1.6	1.2	1.6	1.2
胱氨酸	0.6	1.0	0.8	0.6	0.8
精氨酸	2.8	2.0	1.8	0.8	2.8
组氨酸	3.6	2.0	3.0	0.8	0.6
酪氨酸	0.8	1.2	1.6	3.2	6.4
门冬氨酸	3.2	3.6	2.0	1.6	1.6
谷氨酸	6.4	7.6	5.2	6.0	5.6
苏氨酸	6.6	5.8	4.8	4.6	4.8
共计	83.2	81.6	79.2	74.6	76.8

（据《珍珠科学》）

由于不同类型母贝所产珍珠的化学组成存在着差异，因而导致珍珠营养、药用价值的差别很大，其中淡水珠的价值低于海水珠。

人们在研究珍珠化学成分的基础上又对珍珠的物相组成进行了深入的研究。在这方面存在着两种观点。一种认为珍珠主要由方解石组成，另一种观点认为珍珠主要由文石组成，文石的含量直接影响着珍珠的质量。表 3-4-5 表示了合浦珍珠中文石含量与珍珠质量的关系。

表 3-4-5 合浦珍珠矿物相及相对质量分数

单位：w_B/%

矿物相 / 珍珠种别	文石	方解石
优质珠	95～85	5～15
一般珠	74	26
棱柱珠	45	55

（据孔蓓，周佩玲）

（三）晶系

珍珠中的碳酸钙主要以斜方晶系的文石出现，少数以三方晶系的方解石出现。

（四）珍珠的结构构造

珍珠具同心环状结构，对于这种结构形成的原因有两种理论，其一认为珍珠层的形成顺序是：先形成壳角蛋白膜层，然后形成碳酸钙沉积，当碳酸钙的球状晶体长到0.25～0.5μm时就附存在这层薄膜上，并向横向生长，最后形成板状结晶。这种结构就像建筑上砌砖一样，壳角蛋白如水泥，碳酸钙结晶体就好像泥砖。另一种理论认为珍珠结构是复杂多变的，即由最

内层的珠核、次内层的不定形有机质层、次外层的方解石棱柱层和最外层的文石珍珠层组成。其结构模式如图 3-4-1 所示。

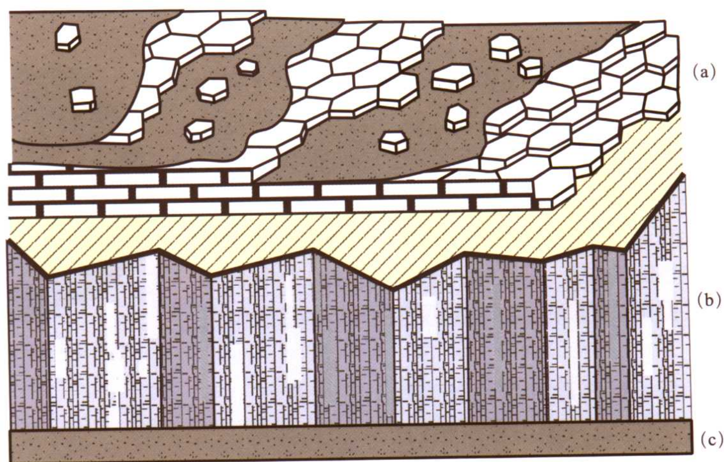


图 3-4-1 珍珠结构模式

(a) 次内层有机质层；(b) 次外层方解石晶体层；(c) 最外层文石层

1. 有核珍珠的结构

1）珍珠的最内层为珠核。

2）次内层为无定形基质层，一般该层紧贴于珠核表面，其厚度变化较大。马氏珠母贝、大珠母贝所养殖珍珠的次内层稍厚一些，基质的化学组成为有机物质，也可混有无机物结晶颗粒，为珍珠囊的早期分泌产物。

3）方解石结晶层（也称棱柱层），在贝壳中大量存在，人们习惯认为在珍珠中，尤其在优质珍珠中很少有方解石晶层，但实验结果证实该层在各种贝、蚌的珍珠中都常出现，具有一定的普遍性，只不过发育程度、厚度有别而已。

4）文石晶层（又称珍珠质层），这是珍珠的主要成分，直接决定着珍珠质地的优劣，它是由许多文石晶质薄层与壳角蛋白的薄膜交替累积而成的，整个文石晶层就是由几百甚至上千个文石薄层累积而成的。组成晶层的文石单晶大小约为：长3～5μm，宽2～3μm，厚0.2～0.5μm，为不规则多边形的扁平平板块状，由壳角蛋白粘结相连，好像砖上加上一层沙浆似的。

珍珠还有一层近似透明的表层，其成分也以$CaCO_3$为主，但CaO含量偏低，微量元素明显增加，有机成分也可能是增加的，因无机成分的总量降低了。其厚度一般在100～200μm之间，但不稳定，有的缺失此层。该层是珍珠的外衣，其厚度、排列、微量元素种类直接影响珍珠的质量和颜色，同时也是珍珠优化处理必须考虑的一环。有核养殖珍珠的结构除珠核较天然珍珠珠核大外，其结构基本相同。

2. 无核珍珠的结构

淡水无核养殖珍珠几乎完全由珍珠层构成，不像有核珍珠的中央有一颗大的珠核，外部才是珍珠层。一般它们的半径基本上就是整个珍珠的珍珠层厚度，优质淡水无核养殖珍珠接近圆心部分碳酸钙的层状结晶呈同心环状，通过壳角蛋白的“粘合”由珍珠层叠合而成。

3. 珍珠的表面特征

不管哪种理论，都表明珍珠的表面形态应是碳酸钙晶体与壳角蛋白堆积在珍珠表面的一种反映，在理想状态下，这种堆积是紧密、完整的，因此珍珠的表面是干净、光滑的，但由

于环境和螺蚌的健康程度的影响，珍珠出现许多沟纹、瘤刺、斑点等瑕疵。

（五）光学性质

1. 颜色

珍珠的颜色是其体色、伴色和晕彩综合的颜色（见图3-4-2）。珍珠的体色又称之为本体颜色，也称背景色，是珍珠对白光的选择性吸收产生的颜色，它取决于珍珠本身所含的各种色素和微量金属元素。伴色是漂浮在珍珠表面的一种或几种颜色。晕彩是在珍珠表面或表面下层形成的可漂移的彩虹色，是加在其体色之上的，是从珍珠表面反射的光中观察到的，由珍珠次表面的内部珠层对光的反射干涉等综合作用形成的特有色彩。



图 3-4-2 各种颜色的珍珠

根据珍珠的体色，可将珍珠颜色分为以下五个系列。

1）白色系列：纯白色、奶白色、银白色、瓷白色等。

2）红色系列：粉红色、浅玫瑰色、浅紫红色等。

3）黄色系列：浅黄色、米黄色、金黄色、橙黄色等。

4）黑色系列：黑色、蓝黑色、灰黑色、褐黑色、紫黑色、棕黑色、铁灰色等。

5）其他：紫色、褐色、青色、蓝色、棕色、紫红色、绿黄色、浅蓝色、绿色、古铜色等。

可能有的伴色有：白色、粉红色、玫瑰色、银白色或绿色等伴色。

晕彩可分为：晕彩强、晕彩明显、有晕彩和无晕彩。

颜色的描述以体色描述为主，伴色和晕彩描述为辅。

2. 光泽及透明度

珍珠光泽　随珍珠层的薄厚及透明度的不同珍珠光泽将发生变化。按光泽的强弱，珍珠光泽又可细分为极强珍珠光泽、强珍珠光泽、中等珍珠光泽及弱珍珠光泽四个级别。

珍珠的透明度　半透明至不透明。

3. 光性

非均质集合体。

4. 折射率与双折射率

折射率为1.530～1.685，多为1.53～1.56，双折率不可测。

5. 发光性

紫外荧光　黑色珍珠在长波紫外线下呈现弱至中等的红色、橙红色荧光。其他珍珠呈现无至强的浅色、黄色、绿色、粉红色荧光。

X射线荧光　除澳大利亚产的银白珠有弱荧光外，其他天然海水珍珠均无荧光。养殖珠有由弱到强的黄色荧光。

6. 吸收光谱

珍珠无特征吸收谱。

（六）力学性质

1. 解理

集合体无解理。

2. 硬度

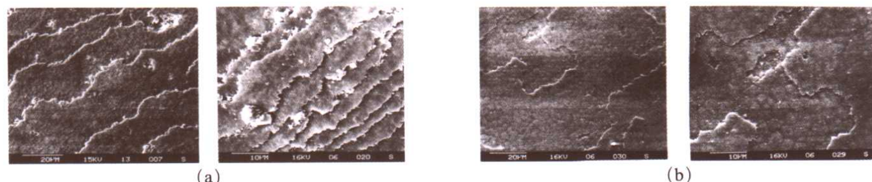
摩氏硬度为2.5～4.5。

3. 密度

珍珠的密度一般在2.60～2.85g/cm³之间，不同种类、不同产地珍珠的密度会略有差异。天然海水珍珠的密度为2.61～2.85g/cm³，天然淡水珍珠密度为2.66～2.78g/cm³，很少超过2.74g/cm³。海水养殖珍珠的密度为2.72～2.78g/cm³。淡水养殖珍珠低于大多数天然淡水珍珠。东方海水天然珠为2.66～2.76g/cm³。澳大利亚珠可达2.78g/cm³。墨西哥湾的珍珠为2.61～2.69g/cm³。淡水天然珍珠为2.66～2.78 g/cm³，少量大于2.74 g/cm³。质量差的珍珠密度较小。贝壳珍珠密度接近2.85g/cm³。

（七）显微特征

显微镜下观察珍珠可见覆盖珍珠的结晶物或含有珍珠层的小型板状物，呈各种形态的花纹，有平行线状、平行圈层状、不规则条纹状、旋涡状，很像地图上的等高线纹理，也有很光滑无条纹的。这种珍珠在电子显微镜下可清晰地看到台阶状的碳酸钙结晶层，每层都由六方板状的结晶体和胶状物质平行叠瓦状连结而成（见图3-4-3），其间有许多小的孔隙。



(a)　(b)

图3-4-3 扫描电镜下珍珠的表面特征

(a) 淡水珍珠；(b) 海水珍珠

（八）其他

1. 溶解性

遇酸起泡。

2. 加热变化

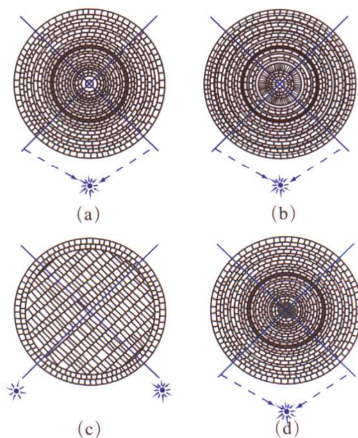
加热燃烧变褐色，表面触摸有砂感。

3. 劳埃衍射

天然珍珠的核很小，包裹核的珍珠层呈同心圈层分布，其衍射花样呈假六次对称分布。

海水养殖珍珠的核大多用珠母贝的贝壳磨制而成，具有平行层状结构，劳埃图表现为假四方对称的衍射花样，仅在珠核的层状平行方向与外面珍珠层文石晶体排列方向一致时，才呈现出与天然珍珠一样的衍射花样。也有的用小珍珠作珠核，进行多次有核养殖，其结构类似于天然珍珠，只是整个珍珠层出现几个与养殖的次数有关的分界。这类有核养殖珍珠的X射线衍射花样不同于用珠母贝作核的有核养殖珍珠，而表现出与天然珍珠一致的衍射花样。

圆形淡水养殖珍珠的劳埃图与天然珍珠类似，衍射花样为假六方对称的衍射斑点（见图3-4-4）。



(a)　(b)　(c)　(d)

图3-4-4 珍珠的X射线衍射图

(a) 天然珍珠；(b) 经过多次养殖的珍珠；(c) 有核养殖珍珠；(d) 无核养殖珍珠

4. X射线照相

用X射线照相，在照片上天然珍珠从中心至外壳均显同心层状结构。无核养殖珍珠显示空心状结构及外部同心层状结构。有核养殖珍珠则显示中心明亮的核及核外的暗色同心层。

二、珍珠的分类

珍珠的分类可按珍珠的形成原因、生成环境、产地、颜色、形态、大小和母贝种类等特征进行分类。目前尚无统一标准，比较实用的一种分类方案是按成因和水域进行划分的综合分类。该分类方案具体如下。

1. 天然珍珠

天然贝、蚌类体内形成的珍珠，包括下述两类。

天然海水珠：即海珠，是由海洋贝体内产出的珍珠。

天然淡水珠：由淡水中蚌类体内产出的珍珠。

2. 养殖珍珠

用人工培育的方法，在贝、蚌类体内形成的珍珠。按照产出水域特点分为海水养殖珍珠和淡水养殖珍珠两种。

三、珍珠的优化处理

珍珠进行优化处理，使颜色更加悦目，这在商业上是很有价值的。珍珠的优化工艺一般包括预前处理—漂白—增白—上光等工艺流程，另外还有珍珠剥皮处理、表面裂隙充填和γ射线辐射等处理方法。

（一）优化

1. 预前处理

预前处理的好坏直接影响到后序工艺的效果。预前处理主要包括分选、打孔、膨化、脱水、光照等环节。

2. 漂白

早在1924年，人们就将漂白法广泛用于天然和养殖珍珠。漂白是珍珠优化过程中最重要的一环。目前，国外多采用过氧化氢漂白法和氯气漂白法两种。

（1）过氧化氢（H_2O_2）漂白法

将珍珠浸泡于浓度为2%～4%的过氧化氢溶液中，温度控制在20～30℃、pH值在7～8之间，同时将其暴露在阳光或紫外线下，经过约20天或以上的漂白，珍珠即会变为灰白色或银白色，效果好时可变成纯白色。

（2）氯气漂白法

氯气的漂白能力比过氧化氢强，因此使用这种漂白方法不当时会使珍珠变得易碎和易脆，或留下一个白垩色的粉状表面，因此一般不太使用这种漂白方法。

3. 增白

漂白不能使珍珠中的色团完全变白，因此利用荧光增白处理是一种很好的方法，它是利用光学中互补色原理来达到增白增色的。使用这种方法要求水质很高，不含铁、铜等金属离子。一般需要软化处理。目前，日本采用的是第三代增白技术——固体增白。

4. 上光

上光即抛光，是一道很重要的工序，好的上光可增强漂白、增白效果。目前采用的抛光

材料有：小竹片、小石头及石蜡，也有的用木屑、颗粒食盐、硅藻土等。抛光后的珍珠应用洗涤剂洗净晾干。

（二）处理

1. 染色

珍珠的染色可分为化学着色和中心染色两种方法。化学着色是将珍珠浸于某些特殊的化学溶液中上色。如用冷高锰酸钾作染料，可染成棕色。中心染色法是将染料注入事先打好的孔洞中，使珍珠显色。

2. γ射线辐射法

γ射线辐射法所用放射源为^{60}Co，强度为$3.7\times10^{13}Bq$（相当于100居里），辐射距离约1cm，辐照时间为20分钟，经过辐射的珍珠可产生蓝灰色和黑色，处理结果稳定。

并不是所有的珍珠都可利用辐照改变颜色。实验证明在γ射线辐射中淡水珍珠比海水珍珠易改变颜色。

3. 珍珠的剥皮处理

用极细的工具小心地剥掉珍珠不美观的表层，希望在其下部找到一个更好的表层。这种操作难度大，有时每次剥离会导致再一次剥离，直至不剩珍珠层为止。目前，国内较少使用此方法，国外仍在采用。

4. 表面裂隙充填法

珍珠表面的细小裂隙必须及时愈合，以保证珍珠光泽和外观的美丽。具体方法是，将珍珠浸于热橄榄油中，油的渗透使珍珠表面裂隙渐渐“愈合”。如果将温度升至150℃，珍珠表面将产生一种深棕色。

四、珍珠的鉴别

（一）天然珍珠与养殖珍珠的鉴别

天然珍珠日渐稀少，大量养殖珍珠涌入市场，二者的价格相差较大，因此，准确地鉴别至关重要。

1. 肉眼鉴定

天然珍珠质地细腻，结构均一，珍珠层厚，多呈凝重的半透明状，光泽强。养殖珍珠的珍珠层薄，透明度较好，光泽不及天然珍珠好。天然珍珠的形状多不规则，直径较小，而养殖珍珠多呈圆形，粒径较大，表面常有凹坑，质地松散。

2. 强光源照射法

在强光源照射下，慢慢转动珍珠，在适当位置上会看到养殖珍珠珠核的闪光，一般360°闪两次，还可见到珠核中明暗相间的平行条纹。

3. 密度法

养殖珍珠的珠核多用淡水蚌壳磨制而成，因此其密度比天然珍珠大。在密度为$2.71g/cm^3$的重液中80%的天然珍珠漂浮，而90%的养殖珍珠下沉。

4. X射线法

X射线法可分为X射线荧光检测、X射线照相和X射线衍射法三种。

X射线荧光：除澳大利亚产的银光珠有弱的黄色荧光外，其他地区产的珍珠均不发荧光；而有核养殖珍珠大多数呈强的浅绿色荧光和磷光。

X射线照相：碳酸钙和壳角蛋白在天然珍珠和养殖珍珠中有不同的分布状态且透明度不同，因此在X射线下有不同的反映。天然珍珠的壳角蛋白分布于文石同心层间或中心，在X射线照片上显示出明暗相间的环状图形或近中心的弧形，当曝光不当或壳角蛋白分布不规律时，则不会明显出现环形层。养殖珍珠的核外包有一层壳角蛋白，它不透过X射线，核就被明显地显示出来，所以有核养殖珍珠在底片上呈现明亮的珠核和边缘较暗的薄的珍珠层，在少数情况下，如果珍珠方向摆放合适，核的水平结构亦可显现出来。无核养殖珍珠内部呈现一个空洞。

X射线衍射：在天然珍珠中文石晶体呈放射状排列，因此无论射线从哪个方向入射，都与文石的结晶轴垂直，在X射线劳埃图上产生假六方对称式分布。有核养殖珍珠的劳埃图均呈现模糊的假四方对称型式，仅有一个方向显示假六方对称式分布。

目前X射线照相与X射线衍射是鉴别天然珍珠、养殖珍珠和仿制珍珠最可靠易行的方法。

5. 内窥镜法

让一束聚敛强光通过一个空心针，针的两端有两个彼此相对的呈45°角的镜面。靠里的镜面使光向上反射，靠外的镜面在针管的底端。将针插进珍珠孔中，光束进入天然珍珠的同心层，将会沿圆心层走一圈又回到管中，而当针处于珍珠中心时，反射光会撞击到针的底端，通过珠孔，这时就可在另一端观察到反射光。光束碰到养殖珍珠的珠核时，会沿珠核折射出去，从而无法在另一端观察到亮的闪光现象，而是在珍珠外部见到一种如猫眼一样的条痕（见图3-4-5）。

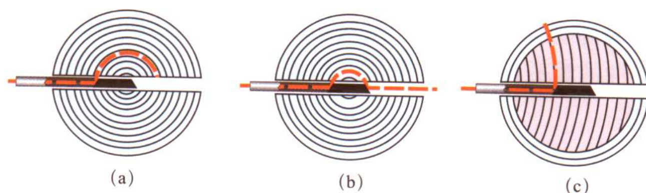


图3-4-5 珍珠的内窥镜鉴定

(a)、(b) 天然珍珠；(c) 养殖珍珠（有核）

6. 磁场反应法

结晶物质在磁场中将按晶体结构不同处于一定位置，将珍珠放在珍珠罗盘中时，天然珍珠会始终保持稳定不转动，有核养殖珍珠将会转动，只有当珠核的层理平行磁力线时珍珠的转动才停止。但此种方法仅适用于正圆珠，所以很少使用。

（二）改善珍珠的鉴定

珍珠的改善方法主要包括漂白、增色、增光、改色、抛光等。珍珠的改色方法有染色、辐照等，通常是把珍珠染成黑色或用各种射线把珍珠辐照成黑色来仿黑珍珠。最近几年市场上又出现了各种颜色的改色珍珠，有红色、绿色、蓝色、金黄色等。

改色珍珠的主要特征有如下。

1. 颜色特征

染色黑珍珠的颜色均匀，但在有病灶、裂纹的地方聚集的黑色较深，出现局部颜色分布不均匀的现象。不同染料所染的颜色不同，对钻过孔的染色珍珠，其钻孔旁、表面裂隙、瑕疵处有颜色浓集的现象和细小的颜色斑块；同时，肉眼可见珠粒间的串绳被染色过的痕迹。用棉花球蘸上2%的稀硝酸溶液在染色黑珍珠表面轻轻擦洗时，棉球上会留下黑色污迹，而擦洗黑珍珠没有这种现象。其他鲜艳颜色的染色珍珠，其颜色展布特征与染色黑珍珠相同，

珍珠表面或整串项链的颜色色调和浓淡一致。使用不同染料可以得到不同的染色效果。

2. 内核

有核黑珍珠在钻孔中所观察到的白色珠核和黑色珍珠质将形成强烈的对比；而有核染色珍珠的珍珠质层及珠核都被染色，可见黑色内核；经γ射线辐照改色的有核珍珠，其珍珠质层近无色透明，而珠核透出黑色。

3. 伴色

经过放射性射线辐照改色的黑珍珠，晕彩光谱色浓艳，同时伴有金属光泽，但颜色均匀，没有养殖珍珠伴色的多样性。

4. 粒度

黑珍珠的粒径多大于9mm，而染色或辐照改色的珍珠多为小于8mm的珍珠。

5. 紫外荧光

染色的珍珠在紫外灯照射下多呈惰性；淡水养殖珍珠常出现黄绿色荧光；海水养殖珍珠常出现弱的蓝白色荧光，但发光性只能作为辅助性的鉴定手段。

（三）珍珠与仿制品的鉴别

早在17世纪法国就出现了用青鱼鳞提取的“珍珠精液”（鸟嘌呤石溶于硝酸纤维溶液中形成）涂在玻璃球上，制成珍珠的仿制品投放市场。科学的进步使这一技术更加发展，人造品种仿真性日趋逼真，造成了以假乱真的局面。当前市场上主要的仿制品种有塑料仿珍珠、充蜡玻璃仿珍珠、实心玻璃仿珍珠、珠核涂料仿珍珠、覆膜珍珠。

1. 塑料仿珍珠

在乳白色塑料上涂上一层“珍珠精液”。初看很漂亮，细看色泽单调呆板，大小均一。其鉴别特点是手感轻，有温感。钻孔处有凹陷，用针挑拨，镀层成片脱落，即可见新珠核。放大检查表面是均匀分布的粒状结构。紫外荧光下无荧光，不溶于盐酸。

2. 玻璃仿珍珠

又分空心玻璃充蜡仿珍珠和实心玻璃仿珍珠。两者同是乳白色玻璃小球浸于“珍珠精液”中而成的，只不过空心玻璃球内充满的是蜡质。其共同点是：手摸有温感，用针刻不动且表皮成片脱落，珠核呈玻璃光泽，可找到旋涡纹和气泡（见图3-4-6），偏光镜下显均质性，不溶于盐酸，无荧光。不同点：是空心玻璃充蜡仿珍珠质轻，密度为1.5g/cm³，用针探入钻孔处有软感。实心玻璃仿珍珠密度为2.85～3.18g/cm³。



图3-4-6 玻璃仿珍珠

据报道，目前国际珍珠市场上还有一种手感、光泽跟海水养殖珍珠很相似的仿珍珠。这种仿珍珠是将具有珍珠光泽的特殊的生物质涂料涂在一种小球上，再涂上一层保护膜。这种仿珍珠可以假乱真，主要由西班牙的马约里卡（Majorica）SA公司生产，因此又称之为马约里卡珠。美国GIA宝石研究所对该产品的珠核进行了能量色散X射线荧光分析，证明是一种硅酸盐，放大观察可见珠核内部有气泡和旋涡纹，这些特征都表明珠核的材料仍为玻璃。

马约里卡珠与海水养殖珠的区别主要是：马约里卡珠的光泽很强，光滑面上具明显的彩虹色，用手摸有温感、滑感，用针在钻孔处挑拨，有成片脱落的现象。最有效的测试方法是：

折射率指数、放大观察、X 射线照相和牙试。马约里卡珠的折射率很低，只有 1.48，显微镜下无珍珠的特征生长回旋纹，只有凹凸不平的边缘。牙齿尖轻擦马约里卡珠时，口有滑感。在 X 射线相片上，马约里卡珍珠是不透明的。

3. 贝壳仿珍珠

是用厚贝壳上的珍珠层磨成圆球或其他形状，然后涂上一层“珍珠汁”制成的。这种仿珍珠与天然珍珠很相似，仿真效果好，它与珍珠的主要区别是放大观察时看不出珍珠表面所特有的生长回旋纹，而只是类似鸡蛋壳表面那样的高高低低的单调的糙面。

4. 覆膜珍珠

是在珠核表面覆上一层染黑的聚合物 essence de orient 膜做成的，也有覆盖其他颜色的膜仿其他种类的珍珠。覆膜珍珠在聚合物薄层里可能存在气泡，易呈现不平整的表层形态，覆层的刮伤、凹坑等也是覆膜珍珠的检测特征。

五、珍珠质量评价与分级

珍珠的价值在于它质量的优劣。评价珍珠质量的因素包括颜色、大小、形状、光泽、光洁度、珠层厚度及匹配性等，这些也是选购、收藏珍珠饰品的标准。

（一）颜色

珍珠颜色的成因比较复杂，除珍珠的各种致色色素外，还与珍珠的贝或蚌的种类、植入的珠核、生长的部位、养殖时间的长短、光照、水域类型、水温环境、收获珍珠的季节等有关。一个被植入了珠核或外套膜的贝或蚌，可能产生各种不同颜色的珍珠，在从贝类或蚌壳中取出珍珠之前，很难准确地预知珍珠的颜色。珍珠具有各种不同的颜色，珍珠的颜色是指其体色、伴色及晕彩的综合特征。但并不是所有的珍珠都有这三种颜色特征。

1. 体色

珍珠对白光选择性吸收产生的颜色称为体色，体色是珍珠本身整体的颜色，它取决于珍珠的各种致色离子、有机色素的种类和含量。

2. 伴色

漂浮在珍珠表面的一种或几种颜色称为伴色。伴色一般叠加在珍珠的体色上，使珍珠魅力倍增。

珍珠一般有各种不同的伴色，最常见的伴色是粉红色、蓝色、玫瑰色、银白色和绿色。人们还常给这些伴色以各种形象的名称，如银光皮、美人醉、孩儿面、胭脂红、虾肉、锡色（近黑色）等。

对珍珠中伴色的观察方法是，在珍珠顶端定位一个折射光，伴色就是从顶端到珍珠中央折射光看到的珍珠颜色。一般而言，黑珍珠的伴色多为绿色或蓝色；粉红色珍珠的伴色为玫瑰色系；白色珍珠具有玫瑰色、粉红色和其他颜色的伴色。

3. 晕彩

晕彩是指在珍珠表面或表层下形成的可漂移的彩虹色，是由珍珠的结构所导致的光的折射、反射、漫反射、衍射等光学现象的综合反映，也称之为光彩。晕彩主要有粉红、绿、黄、橙、蓝、紫等或多种色彩组合的彩虹。滚动珍珠以寻找晕彩，可能有两种或更多彩虹颜色出现在珍珠表面或表层。

对颜色的描述一般以体色描述为主，伴色和晕彩描述为辅。

养殖珍珠的颜色多种多样，如前所述，一般按珍珠的颜色可分为白色系列、红色系列、黄

色系列、黑色系列和其他五个颜色系列。

颜色是珍珠质量评价的重要指标，但因各地的民俗、种族、爱好、文化背景和市场流行的需求不同，对颜色的爱好也不尽相同。

颜色的流行趋势也会影响不同颜色珍珠的价值。一般而言，珍珠颜色的价差不会太大，但某种颜色的流行需求和稀缺性会较大地影响它们的价格。即便如此，颜色价值的权重也只占珍珠价值的10%～20%。玫瑰色和粉红色海螺珍珠的价值一直高居不下，是因为产量极少，因此它们经常比其他珍珠更为珍贵。黑色珍珠在一些时期市场价格也很高，是因为市场极为流行，也刺激了生产商的大量养殖而使市场价格趋于平稳。价格最终受控于市场的供求关系。

（二）大小

珍珠的大小指单粒珍珠的尺寸。正圆、圆、近圆形养殖珍珠以最小直径来表示，其他形状的养殖珍珠以最大直径和最小直径来表示。

珍珠的大小与价值关系极为密切，一般言之，越大越贵重，是因为大颗粒的珍珠甚少，一般以小颗粒居多。中国旧有“七分珠，八分宝”之说，就是说珍珠达到八分重（按大小计算约为直径9毫米的圆形珠）就是“宝”了。

影响珍珠大小的因素很多，其中贝类的大小直接影响着其孕育的珍珠的大小，一般来讲，贝体越大，其可产出的珍珠也越大。对海水珍珠而言，贝体大者可植入大的珠核，但在珠核得以长大之前贝体排出珠核及死亡的可能性也随之增加。因此，珍珠越大越稀有，价值也越高。

一般珍珠的大小按直径（毫米）可分为下述六个等级。

厘珠　ϕ=2.0～5.0mm，一般＜5.0mm

小珠　ϕ=5.0～5.5mm

中珠　ϕ=5.5～7.0mm

大珠　ϕ=7.0～7.5mm

特大珠　ϕ=7.5～8.0mm

超特大珠　ϕ＞8.0mm 以上

珍珠大小对其价值和价格都有重大的影响，在同等条件下（皮光、皮色、形状上），珍珠越大价值越高。

（三）形状

珍珠的形状是指珍珠的外部形态。珍珠的形成受众多因素的影响，其形状以球形为主，如圆形、椭圆形和水滴形等。此外还有不规则状的异形珍珠，这些造型如果巧妙地设计和应用也会达到意想不到的美学效果和极高的艺术价值。

中国养殖珍珠国家标准将海水珍珠的形状一般分为正圆、圆、近圆、椭圆、扁平、异形等。正圆、圆、近圆形海水珍珠以最小直径来表示，其他形状海水珍珠以最大直径和最小直径表示。

淡水珍珠形状与海水珍珠的分类基本相同，但在小类划分尺度上略有差异，国际珍珠标准将其分为圆形类、椭圆形类、扁圆形类和异形类四大类。圆形类分为正圆、圆、近圆三个级别；椭圆形分为短椭圆、长椭圆两个级别；扁圆形分为高形、低形两个级别；异形类仅分异形一个级别。

（四）光泽

珍珠的美丽、高雅在很大程度上归功于其光泽。珍珠光泽指的是珍珠表面反射光的强度及映像的清晰程度。珍珠光泽的产生是由其多层结构对光的反射、折射和干涉等综合作用的结果。这种光学效应决定了珍珠给人以含蓄、高雅、朦胧、柔和的美感，成为评判其价值的主要依据。

珍珠光泽一般划分为四个等级，分别为极强、强、中和弱（见表3-4-6）。

表3-4-6　养殖珍珠光泽质量要求

光泽级别		海水养殖珍珠质量要求	淡水养殖珍珠质量要求
极强	A	反射光特别明亮、锐利、均匀，表面像镜子，映像清晰	反射光很明亮，锐利均匀，映像很清晰
强	B	反射光明亮、锐利、均匀，映像清晰	反射光明亮，表面能见物体影像
中	C	反射光明亮，表面能见物体影像	反射光不明亮，表面能照见物体，但影像较模糊
弱	D	反射光较弱，表面能照见物体，但影像较模糊	反射光全部为漫反射光，表面光泽呆滞，几乎无映像

珍珠光泽又称为皮光、珠光，其强弱主要决定于珍珠层的物相组成、有序度及厚度，也受贝体的健康与否和海水温度高低、珍珠生长时间长短、速度快慢等因素影响。一般而言，珍珠质层越多，珠层越厚，文石排列有序度越高，则珍珠光泽越强，珍珠表面更显圆润，同时具有很好的弹性及很少的表面瑕疵，由此形成一个明亮的、高对比度的表面；光泽差的珍珠看上去黯淡无光，伴色和晕彩不明显。光泽是决定珍珠质量的最重要因素之一。

一般将珠层厚度分为特厚、厚、中、薄、极薄五个级别。

珍珠评价中，光泽和珠面质量分别占有25%左右的权重，因此，光泽和珠面质量不仅是选购珍珠的主要因素，也是珍珠贸易中价格高低的决定因素。

（五）珠面质量

珍珠的珠面质量包括瑕疵和光洁度。

珍珠的瑕疵是指导致珍珠表面不光滑、不美观的内外部缺陷，光洁度则指珍珠瑕疵多少的总程度。

珍珠珠面常见的瑕疵有：腰线、隆起（丘疹、尾巴）、凹陷（平头）、皱纹（沟纹）、破损、缺口、斑点（黑点）、针夹、划痕、剥落痕、裂纹及珍珠疤等。

珍珠瑕疵的观察，一般以肉眼观察为主，无需借助任何放大设备。当对单粒珍珠进行瑕疵评定时，根据其数量、大小、种类和位置来分级；但当对一串珍珠如项链进行瑕疵评定时，要进行综合考虑，大溪地珍珠行业以瑕疵所占的百分数为判断依据。

（六）匹配

珍珠可以制成多元化的首饰品，如项链、手链、耳饰、戒指等。若以品质的鉴定来说，是针对戒指上单一的珍珠来评定等级，但如果所鉴定的是由多粒珍珠组成的饰品，则必须视整件饰品的珍珠作统一的评定，而并非只取其中的一颗来决定整件饰品珍珠的品质。对整件饰品珍珠来说，同样必须依照珍珠的光泽、光洁度、形状、颜色及大小来区分等级的高低，并且要求整件饰品的珍珠都整齐划一。习惯上将多粒珍珠饰品中养殖珍珠匹配性级别划分为三个级别：很好、好、一般。

六、珍珠的养殖

（一）珠母贝的种类

能产珍珠的贝类很多，据资料报道，世界上能养殖珍珠的母贝有30多种，我国近海的珍珠贝也有17种之多。海产珍珠贝类主要有马氏贝、大珠母贝、黑蝶贝、金唇贝、银唇贝、企鹅贝，另外牡蛎、海蜗牛、海螺也可产珍珠。淡水珍珠蚌类有三角帆蚌、褶纹冠蚌、珠母珍珠蚌、背瘤丽蚌、池蝶蚌等。

马氏贝所产珍珠绚丽多彩、晶莹圆润；大珠母贝所育出的珍珠硕大凝重、银白耀目；产自银唇贝的珍珠以银白色为主；而产自金唇贝的珍珠多带金黄色；企鹅贝产出的珍珠呈现奇妙的棕褐色或近似其他浅色彩；海蜗牛产的珍珠多为白垩色，光泽、色彩都不理想；海螺类往往产出漂亮的螺珠。

淡水蚌类中以三角帆蚌产珠质量最佳，珠质光滑细腻，形状较圆，色泽好，但生长速度慢。褶纹冠蚌产珠质量次之，珠质多皱纹，呈白色或粉红色，一般为长圆形，生长速度快。背瘤丽蚌是最好的天然产珠蚌类，它产的珍珠多呈瓷白色，局部有翠绿色的闪光。珠母珍珠蚌又称蛤蜊，很适宜于低温寒冷环境生活，多产白色或淡肉红色珍珠。池蝶蚌又称许氏帆蚌，与三角帆蚌相似，产珠质量好，生长速度快，是日本主要淡水育珠蚌，我国已在上海地区引进繁殖。

（二）养殖珍珠的种类

早在13世纪，中国人就将诸如小菩萨像等物件置放于贝类的壳与外套膜之间，经过一段时间，这些物件表面便可覆盖上珍珠层，这是最早的养珠技术，该技术后来传入了日本。日本人御木本幸吉采用了这一技术，并发展了这一技术，使人工养殖珍珠得以成功。目前人工养殖珍珠主要有以下几种。

1. 全核人工养殖珍珠

全核人工养殖珍珠是将一颗完整的珠核置入软体动物的外套膜内，最终这个珠核可以覆盖上大约1.5mm的珍珠层，形成一个完整的球形珍珠。

2. 贝附珍珠

将珠核置于软体动物的壳与外套膜之间，将置核后的该软体动物放入水中生活数年，珠核上面就会覆盖一层天然钙质膜。养殖后的珍珠加工方法各异，有时将后部切掉，然后在半形珠上粘上一层珠母质，经车、磨、抛光后形成一个拼合珍珠（见图3-4-7（a））。

3. Mabe珠

通常是将上述贝附珍珠中的珠核去除，换上新的小珠，或用蜡充填其间，然后再拼上一块珠母层加工成一圆形珍珠，称Mabe珍珠（见图3-4-7（b））。

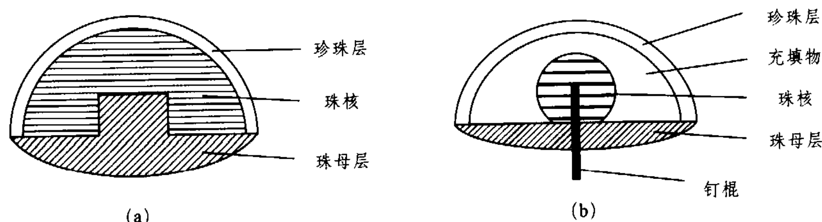


图3-4-7 拼合珠（a）和Mabe珍珠（b）

4. 无核养殖珍珠

是用外套膜的微块替代珠核植入软体动物的外套膜中，一个珠蚌可以植入大约50个外套膜微块，经过三四年就可以收获珍珠。这种方法养殖的珍珠形态差异很大，在很大程度上取决于被植入的外套膜的形态。但该种养殖方法产量高，目前在淡水养殖的珍珠中已占有相当重要的地位。

商业上常说的客旭（keshi）珍珠是指那些数量较大，外表呈黑色和白色，形状古怪不规则的无核海水养殖珍珠。优质的客旭珍珠以其强的珍珠光泽和彩虹色而著称。南洋珠中有较好质量的客旭珠产出。

（三）珍珠形成的机理

珍珠实际上是当外来异物进入蚌类软体内部时，引起蚌抵抗外来侵入机制反应的结果。当外来的沙粒、珠核或外套膜块进入这些软体动物的外套膜时，由于受这些外来物质的侵入、刺激和蚌类的防御机制，外套膜便会分泌出粘液（也就是碳酸钙和有机质构成的珍珠质），将它们一层一层地包裹起来，即形成一层层呈叠瓦状的同心珍珠层，一般每一层代表一个生长季节，经过一段时间的生长变形成了珍珠（见图3-4-8）。

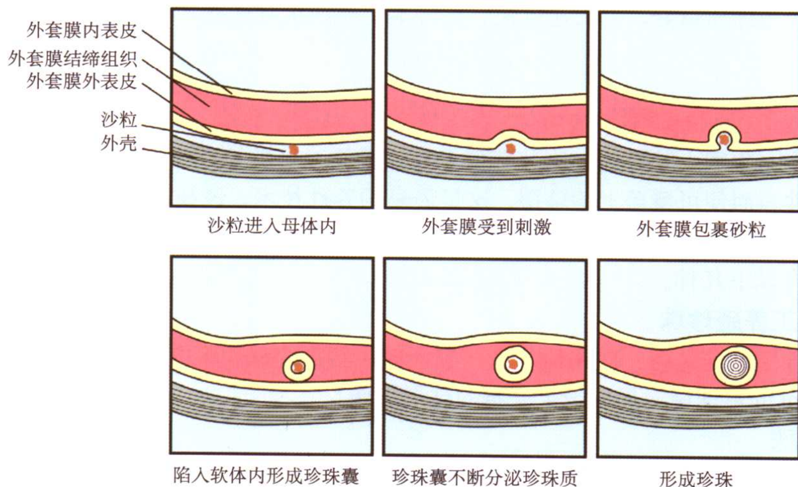


图3-4-8 珍珠的形成过程

（四）人工育苗

母贝的来源，过去是由潜水员采集天然珠贝做母贝，而今是将母贝放在25℃水温下授精、培育。人工育苗分为三个阶段，即人工授精阶段、幼虫饲养阶段和培育阶段，养殖水域要适宜于母贝的生态习性。

（五）人工植核

选择经过二、三年养殖的成年健康贝，实施外科手术植入珠核。

植核时，将壳撬开1cm，用消过毒的手术刀在外套膜上割一个小口，插入膜片，就可养殖无核珍珠。如果养殖有核珍珠，则在插入膜片的同时插入珠核，而且膜片必须紧贴在珠核上，并插到预定位置。

植核后的母贝装入笼内并标上标记及时送回环境条件适合的水域中去养殖。一般经过一

个月的休养，休养期满后以5个1笼的密度，置于50cm × 35cm × 35cm的镀锌铁笼中把育珠贝养于3～5m深的水体中。

（六）珍珠的收获和处理

植核后的母贝经过8个月至一年的精心养殖就可以收获（见图3-4-9），收获季节选择在冬季的11～12月份，这时的珍珠光泽好。收获前先用X光透视，确定收获对象。

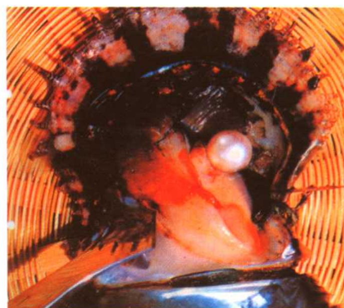


图3-4-9 养成的珍珠

收获后的珍珠必须及时处理，以保证珍珠的质量。可先用过滤的温暖海水洗净，再用清水漂洗，然后用软毛巾擦干。还可用饱和盐水浸泡5～10分钟，然后用2∶1比例的食盐和珍珠混合一同揉擦，再用温水溶解食盐分离出珍珠，最后用清水把珍珠洗涤干净。或是将采出后的珍珠浸于肥皂水中，用软毛刷蘸肥皂水轻轻刷洗，后用清水洗净，再用新的软毛巾擦干。

七、珍珠的产地简介

（一）天然珍珠

产于波斯湾地区的东方珍珠已成为天然珍珠的代名词。巴黎是世界上天然珍珠的销售中心，巴黎市场上90%的珍珠来自波斯湾。世界上最优质的珍珠以波斯湾地区巴林岛的为最佳。

伊朗、阿曼、沙特阿拉伯海岸已有2000多年的产珠历史。

印度和斯里兰卡之间的马纳尔湾也是具有悠久历史的珍珠产地。

美国田纳西的天然淡水珠很多，彩色似彩虹。主要有白色、粉红色，偶尔有绿色、灰色和黑色等。

（二）养殖珍珠

世界上的养殖珍珠主要产于中国、日本。

中国的海水养殖珍珠主要分布于南海北部湾及南海海域，也称之为“南珠”。如历史悠久的广西合浦珍珠，色泽艳丽，质地优良。海水养殖珍珠以广东、广西、海南省发展迅速。南珠代表性的品种是产自广西南海的海水养殖珍珠。

中国的淡水无核养殖珍珠主要分布于浙江、江苏、上海、安徽、江西、湖南、湖北、四川等地。其中以浙江、江苏产量较大。据业界粗略估计，浙江省约有上万个淡水珠养殖户，江苏省的数目更多，但养殖厂规模一般较浙江为小。两省产量超过全国淡水珠总产量的八成。目前中国的淡水养殖珍珠超过世界总产量的90%。

日本的海水养殖珍珠主要分布于三重、高知、爱媛、长崎、广岛、熊本、神户等县，其中三重县为世界优质海水养殖珍珠的著名产地，珠径可达9～10mm。淡水养殖珍珠主要产于日本列岛中部的琵琶湖和霞浦湖。

其他如大溪地岛、澳大利亚、印度尼西亚、菲律宾、泰国、缅甸及其他国家、地区都拥有发展程度不同的珍珠养殖业。

一个多世纪以来，大溪地一直是世界著名的黑珍珠产出地区，而且产量稳定增长，占世界黑珍珠产量的90%左右，大溪地几乎成为黑珍珠的代名词。生产黑珍珠的另一个主要产地

是夏威夷。

所谓的南洋珍珠是指产自南太平洋海域沿岸国家的天然或养殖珍珠，主要包括澳大利亚、印度尼西亚和菲律宾等地。南洋珠以白色著称，但实际上有白色、黑色和金色三个系列。其中澳大利亚是目前世界上最大的白色海水养殖珍珠的产出国，世界60%的产值都来自澳大利亚。

第二节　琥　珀

在中国古代，琥珀曾被称作"虎魄"、"兽魄"、"育沛"、"顿牟"、"江珠"、"遗玉"等，谓"虎死精魄入地化为石"，或认为琥珀是老虎流下的眼泪，这些传说蕴含着中国古人对琥珀的揣测和追寻，暗示人们认为琥珀有趋吉避凶、镇宅安神的功能。

琥珀是中生代白垩纪至新生代第三纪松柏科植物的树脂，经地质作用而形成的有机混合物。琥珀的形成一般有三个阶段，第一阶段是树脂从柏松树上分泌出来；第二阶段是树脂被深埋，并发生了石化作用，树脂的成分、结构和特征都发生了明显的变化；第三阶段是石化树脂被冲刷、搬运、沉积和发生成岩作用从而形成了琥珀。

一、琥珀的基本性质

（一）宝石名称

琥珀，其英文名称为Amber，来自拉丁文Ambrum，意思是"精髓"。

（二）化学成分

化学成分为$C_{10}H_{16}O$，含少量的硫化氢。主要化学元素含量为：$w(C)=75\%\sim85\%$；$w(H)=9\%\sim12\%$；$w(O)=2.5\%\sim7\%$；$w(S)=0.25\%\sim0.35\%$；微量元素主要有Al、Mg、Ca、Si、Cu、Fe、Mn等元素。

琥珀含有琥珀酸和琥珀树脂等有机物，不同琥珀的组成有一定的差异，主要有机物的组成为：琥珀酯酸质量分数69.47%～87.3%；琥珀松香酸10.4%～14.93%；琥珀酯酸1.2%～8.3%；琥珀酸盐4.0%～4.6%；琥珀油1.6%～5.76%。

（三）琥珀的形态

琥珀为非晶质体，有各种不同的外形，如结核状、瘤状、水滴状等；还有一些如树木的年轮或表面具有放射纹理；产在砾石层中的琥珀一般呈圆形、椭圆形或有一定磨圆的不规则形，并可能有一层薄的不透明的皮膜（见图3-4-10）。



图3-4-10　琥珀原料

（四）光学性质

1. 颜色

浅黄—蜜黄色、黄棕色到棕色、浅红棕色、淡红、淡绿褐色、深褐色、橙色、红色和白色，蓝色、浅绿色、淡紫色少见。

2. 光泽、透明度

透明到微透明、半透明。未加工的原料为树脂光泽，有滑腻感，抛光后呈树脂光泽至近玻璃光泽。

3. 光性

在正交偏光镜下全消光，常见异常消光，局部因结晶而发亮。

4. 折射率

通常 1.540，其折射率稍有变化，最低到 1.539，最高至 1.545。

5. 发光性

长波紫外线下具浅蓝白色及浅黄色、浅绿色、黄绿色至橙黄色荧光，弱到强。短波下荧光不明显。

（五）力学性质

1. 断口

断口呈贝壳状。韧性差，外力撞击容易碎裂。

2. 硬度

H_M=2～2.5，用小刀可轻易刻划，甚至指甲可以刻划。

3. 密度

琥珀是已知宝石中最轻的品种，其密度为 1.08(+0.02，−0.08)g/cm^3，在饱和的浓盐水中可以悬浮。

（六）内外部特征

内含物常见，且许多肉眼可见。内含物有动物、植物、气液包体、旋涡纹、杂质、裂纹等类型。

1. 动物

有甲虫、苍蝇、蚊子、蜘蛛、蜻蜓、马蜂、蚂蚁等多种动物，但动物个体完整者少见，多表现有挣脱迹象，易留下残肢断腿的碎片（见图 3-4-11）。



图 3-4-11 琥珀中的昆虫包体

2. 植物

琥珀中保存有伞形松、种子、果实、树叶、草茎、树皮等植物碎片（见图 3-4-12）。

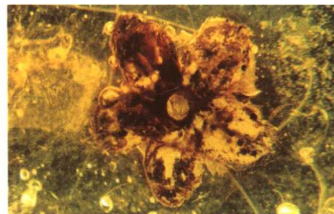


图 3-4-12 琥珀中的植物包体

3. 气相和气液两相包体

琥珀中常见圆形或椭圆形气泡，还可有气液两相包体。

4. 旋涡纹

多分布于昆虫或外来植物碎片周围。

5. 裂纹

在琥珀中经常可见有裂纹发育，并被黑色与褐色物质充填，黑色物质为碳质，褐色物质为铁质，这些裂纹可能由于风化、搬运迁移、石化过程中受力作用所致。

6. 杂质

在琥珀的裂隙、空洞中经常有杂质充填。可能是在风化过程中充填或是树脂流动过程中包裹的泥土、砂砾、碎屑，这些物质大多受到过铁锰物质的浸染而呈褐色或黑褐色。

（七）其他

1. 导电性

琥珀是电的绝缘体，与绒布摩擦能产生静电，可将细小的碎纸片吸起来。

2. 导热性

琥珀的导热性差，有温感，加热至150℃时变软，开始分解，250℃时熔融，产生白色蒸汽，并发出一种松香味。

3. 溶解性

易溶于硫酸和热硝酸中，部分溶解于酒精、汽油、乙醇和松节油中。

二、琥珀的类型

在国家标准中,没有对琥珀进行进一步的分类，但在商业中常根据琥珀的成因、产地及不同特征来命名。结合商业习惯称呼，琥珀的主要类型有血珀、金珀、蜜蜡、金绞蜜、香珀、虫珀、蓝珀、石珀等，另外还有灵珀、花珀、水珀、明珀、蜡珀、红松脂等其他类型。

1. 血珀

红色透明，又称红珀，色红如血者为琥珀中的上品（见图3-4-13）。



图 3-4-13　血珀

2. 金珀

金黄色透明的琥珀。

3. 蜜蜡

半透明至不透明，可以呈现各种颜色，以金黄色、棕黄色、蛋黄色等黄色最为普遍，有蜡状感，光泽有蜡状 - 树脂光泽，也有呈玻璃光泽的。

4. 金绞蜜

当透明的金珀与半透明的蜜蜡互相绞缠在一起时，形成一种黄色的具绞缠状花纹的琥珀。

5. 香珀

具有香味的琥珀。

6. 虫珀

包含有动物、植物遗体的琥珀（见图3-4-14），其中以“琥珀藏蜂”、“琥珀藏蚊”、“琥珀藏蝇” 等较为珍贵。



图 3-4-14　虫珀

7. 石珀

有一定石化程度，硬度比其他琥珀大，色黄而坚润的琥珀。

8. 蓝珀

在紫外灯下呈现蓝色荧光的琥珀（见图 3-4-15）。



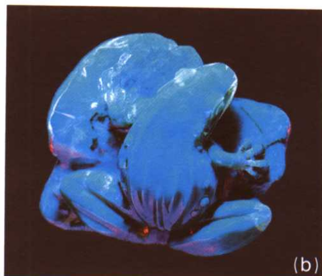


图 3-4-15　多明尼加蓝珀

(a) 白炽灯下；　(b) 紫外灯下

9. 其他类型

琥珀的其他类型也是根据琥珀的不同特征来命名的，但不常用。

三、琥珀与相似品的鉴别

1. 树脂类

（1）硬树脂

硬树脂是一种地质年代很新的半石化树脂，与琥珀有类似的成分，但不含琥珀酸且挥发分比琥珀量高。其物理性质与琥珀相似，但更易受化学腐蚀，用一小滴乙醚滴在硬树脂表面，并用手揉搓，硬树脂会软化并发粘，而琥珀不会出现这种现象。在紫外灯下，尤其是短波紫外灯下，硬树脂呈强白色荧光；用热针接触，硬树脂比琥珀更易熔化，用这种方法检测时，必须用一块琥珀和一块硬树脂做标样。硬树脂脆性更强一些，其表面比琥珀更易裂开。硬树脂中亦可能包裹天然的或人为置入的动植物。

（2）松香

松香是一种未经地质作用的树脂，呈淡黄色、不透明、树脂光泽、质轻、硬度小、用手可捏成粉末，相对密度与琥珀接近（约为1.05）。表面有许多油滴状气泡，导热性差，短波紫外光下呈强的黄绿色荧光。燃烧时呈芳香味。

（3）柯巴树脂

与琥珀最为相似，是一种地质年代很近（约100万年）的树脂，未经石化，化学腐蚀作用敏感。将1滴乙醚滴在其表面，并用手指搓，可迅速出现粘性斑点。柯巴树脂对酒精更敏感，表面滴酒精后变得发粘或不透明，另外在冰醋酸中有类似酒精的溶解反应。但此种方法对于地质年代较老的石化树脂、硬树脂则无反应。在短波紫外光下，柯巴树脂发白色荧光，比天然琥珀明亮。柯巴树脂中可以含有动植物包体。柯巴树脂的红外光谱与琥珀有较大的差异。

2. 塑料类

包括酚醛树脂、酪朊塑料、安全赛璐珞、赛璐珞、氨基塑料、有机玻璃、聚苯乙烯等材料。早期的塑料仿琥珀具有明显的流动构造（见图3-4-16（a）），比较容易区分，但近期的塑料制品不但能模仿琥珀的颜色，更可以制造出与“太阳光芒”极为相似的盘状裂隙（见图3-4-16（b）），使之更为逼真。这些塑料在颜色、暖感和电学性质上与琥珀十分相似，但折射率和密度都与琥珀有很大区别。



图3-4-16　塑料仿琥珀
（a）早期的塑料仿琥珀；（b）近期的塑料仿琥珀

塑料中除聚苯乙烯（密度为1.05g/cm^3）在饱和食盐水中漂浮外，其余全部下沉。

塑料的折射率约在1.50～1.66之间变化，很少有与琥珀接近的折射率值。

塑料具有可切性，用小刀在样品不显眼部位切割时，会成片剥落；而琥珀则产生小缺口。

用热针试验，塑料会有各种异味，而琥珀可发出松香燃烧时的芳香味；灼烧时产生的现象也不一样，塑料会熔化，而琥珀只留下烧斑。

琥珀与塑料类仿制品的区别见表3-4-7。

3. 玻璃和玉髓

玻璃、玉髓在颜色上可仿琥珀，但其性质却与琥珀有很大的差别，因此较容易鉴别。

表 3-4-7 琥珀及其塑料类仿制品的鉴定特征

品种	折射率	ρ/g·cm^{-3}	H_M	可切性	内含物	其他
琥珀	1.54	1.08	2.5	缺口	动植物残骸、气泡，具旋涡纹	具蓝白色荧光，燃烧具芳香味
酚醛树脂	1.61～1.66	1.25～1.30		可切	流动构造	具褐色荧光
氨基塑料	1.55～1.62	1.50		易切	云雾状、流动构造	
聚苯乙烯	1.59	1.05		易切	云雾状、流动构造	易溶于甲苯
赛璐珞	1.49～1.52	1.35	2	易切	易燃	
安全赛璐珞	1.49～1.51	1.29	2～2.5	易切		燃烧发醋酸味
酪朊塑料	1.55	1.32		可切		滴浓硝酸留下黄色污斑，短波紫外光下呈白色
有机玻璃	1.50	1.18	2	可切	气泡、动植物体	燃烧具刺激性异味

四、琥珀的优化处理及其鉴别

为了提高琥珀的质量或利用价值，常对琥珀进行优化处理，琥珀的优化处理有以下几种。

1. 热处理

为增加琥珀的透明度，将云雾状琥珀放入植物油中加热，加热后的琥珀变得更加透明。在处理过程中会产生叶状裂纹，通常称为“睡莲叶”或“太阳光芒”（见图 3-4-17），这是由于小气泡受热膨胀爆裂而成的。天然琥珀也会因地热而发生爆裂，但在自然界条件下受热不均匀，气泡不可能全爆裂，而处理过的琥珀气泡已全部爆裂，故不存在气泡。



图 3-4-17 热处理琥珀的太阳光芒

2. 再造琥珀

由于一些琥珀块度过小，不能直接用来制作首饰，因此将这些琥珀碎屑在适当的温度、压力下烧结，形成较大块琥珀，称为再造琥珀，亦称压制琥珀、熔化琥珀或模压琥珀。

生产再造琥珀时，为保证纯正的颜色和高的透明度，要先将琥珀提纯。其方法是，将琥珀破碎成一定粒度，再通过重力浮选法除去杂质，然后在约 2.5MPa 的压力和 200～300℃的温度下压制成型，压制时的温度和时间不同可以得到不同的产物，其内部特征有一定的差异。另外在压制过程中添加其他的有机物，如染料、香味精及粘结剂等，这类压制琥珀需要较高的温度和较长的时间，可以得到均匀、透明、没有流动构造的压制琥珀。

再造琥珀的物理性质与琥珀相似。它们的主要区别如下。

1）内部特征：早期生产的再造琥珀常含有定向排列的扁平拉长状气泡及明显的流动构造，并产生清澈与云雾状相间的条带，琥珀颗粒间可见颜色较深的表面氧化层。新式再造琥珀透明度高，不存在云雾状及流动构造，表现为糖浆状的搅动构造，有时含有未熔物。未处理过的琥珀内所含气泡多呈圆形，通常含有动、植物碎屑。

2）通过放大观察可见再造琥珀可能具有粒状结构或“血丝”状构造，在抛光面上可见相邻碎屑因硬度不同而表现出凹凸不平的界线。

3）正交偏光镜下，再造琥珀表现为异常双折射，天然琥珀的典型特征是局部发亮。

4）再造琥珀的密度比天然琥珀稍低一些，一般为 1.03～1.05g/cm^3。

5）在短波紫外光下，再造琥珀比天然琥珀的荧光强，再造琥珀表现为明亮的白垩状蓝色荧光，天然琥珀为浅蓝白、浅蓝或浅黄色荧光。

6）天然琥珀的颜色通常为黄色、棕色、红色等；压制琥珀的颜色一般为橙黄或橙红色。

再造琥珀与天然琥珀的鉴定特征见表3-4-8。

表3-4-8 天然琥珀与再造琥珀的鉴定特征

特 征	天然琥珀	再造琥珀
颜色	黄、橙、棕红色均有	多呈橙黄或橙红色
断口	贝壳状，有垂直于贝壳纹的沟纹	贝壳状
结构	表面光滑	粒状结构，表面呈凹凸不平的橘皮效应
ρ/g · cm^{-3}	1.05～1.09	1.03～1.05
包裹体特征	动植物残骸、矿物杂质、圆形气泡	洁净透明，可有聚集态的未熔物，气泡呈扁平拉长状定向排列
构造	具有如树木的年轮或放射状纹理	早期产品具流动构造，新式压制琥珀具糖浆状搅动构造
紫外荧光	浅蓝白、浅蓝或浅黄色荧光	明亮的白垩状蓝色荧光
可溶性	放在乙醚中无反应	放在乙醚中几分钟后变软
老化特征	因老化而发暗，呈微红或微褐色	因老化而发白

3. 染色处理

琥珀在空气中暴露若干年后会变红。染成红色可以模仿这种老化特征，另外还可染成绿色或其他颜色，放大观察颜色只存在于裂隙中。

五、琥珀的质量评价

琥珀的评价从颜色、块度、透明度及内含物四个方面进行。

1. 颜色

以颜色浓正者为佳。绿色和透明的红色价值最高。常见的颜色是黄色系列。

2. 块度

一般要求具有一定块度，且越大越好。

3. 透明度

要求洁净无裂纹，越透明越好，以晶莹剔透者为上品，半透明至不透明者次之。

4. 内含物

琥珀中可含许多动植物及其碎片，以含昆虫者最好，由所含昆虫的完整程度、清晰程度、形态大小和数量决定虫珀的价格。

六、琥珀的产地

琥珀的产地众多，主要有欧洲的波罗的海沿岸国家：波兰、德国、丹麦、俄罗斯，多明尼加海域也曾大量产出优质琥珀。目前，在罗马尼亚、捷克、意大利西西里岛、挪威、英国、新西兰、缅甸、黎巴嫩、美国、加拿大、智利、伊朗、阿富汗均有产出。

中国的琥珀主要产自辽宁抚顺的第三纪煤田中，且有优质虫珀产出。另外河南的西峡和南阳、云南的保山和丽江及哀牢山、福建的璋浦也有琥珀产出。

七、琥珀的保养

琥珀属于有机宝石，易溶于有机溶剂，如指甲油、酒精、汽油、煤油、重液中，应避免触及化学药品，也不宜放入化妆柜中。一般情况下，不要用重液测定其相对密度和用浸油法测折射率。使用后可用湿棉布轻轻擦拭表面，然后再擦上植物性油脂（如橄榄油）风干即可恢复琥珀的光泽。

琥珀性脆，硬度低，不宜受外力撞击，应避免磨擦、刻划，防止划伤、破碎。收藏琥珀时应以单件存放，避免与硬质首饰一起保存，以免擦撞而造成刮痕。

琥珀的熔点低，易熔化，怕热，怕暴晒，琥珀制品应避免太阳直接照射，不宜放在高温的地方。琥珀易脱水，干燥易产生裂纹。

第三节 珊 瑚

珊瑚是一种低等腔肠动物珊瑚虫分泌的钙质为主体的堆积物形成的骨骼，而这种骨骼常呈树枝状产出，过分的采集珊瑚将严重破坏海洋生态，所以珊瑚在国际上被列为二级保护生物。

一、珊瑚的基本性质

（一）宝石名称

珊瑚（Coral 或 Caleareous），分为钙质型珊瑚和角质型珊瑚两种。

（二）化学成分

钙质型珊瑚主要由无机成分、有机成分和水分等组成。通过研究得知白珊瑚的主要矿物成分为文石，红珊瑚的主要矿物成分为方解石，这一结果可以在红外光谱的测试上得到证实（见图3-4-18）。除此之外，钙质珊瑚还含有少量的碳酸镁、硫酸钙和氧化铁。各成分质量分数如下。

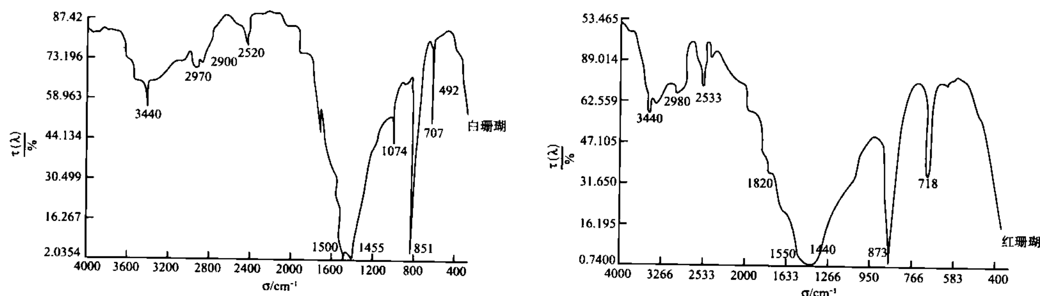


图3-4-18 白珊瑚（左）和红珊瑚（右）的红外光谱图

碳酸钙（$CaCO_3$）：82%～87%

碳酸镁（$MgCO_3$）：6%～7%

三氧化二铁（Fe_2O_3）：0.04%～1.72%

硫酸钙（$CaSO_4$）：1.27%

水（H_2O）：0.55%

有机质：1.3%～25%

通过对珊瑚的微量元素光谱分析可知，珊瑚还含有Sr、Pb、Si、Mn等十几种微量元素。

有机成分：珊瑚还含有一定量的角质蛋白和有机酸、谷氨酸等14种氨基酸。

角质型黑珊瑚和金珊瑚几乎全部由有机质组成，很少或不含碳酸钙，其他成分还有H、I、S、Br和Fe等。

（三）结晶状态及形态

珊瑚的组成矿物为隐晶质方解石、文石。集合体形态奇特，多呈树枝状、星状、蜂窝状等。

（四）光学性质

1. 颜色

常见有白色、奶油色、浅粉红至深红色、橙色、金黄色和黑色。偶见蓝色和紫色。

2. 光泽和透明度

蜡状光泽，抛光面呈玻璃光泽，微透明至不透明。

3. 折射率及双折射率

钙质型珊瑚的折射率为1.658～1.486，点测法约1.65。角质型珊瑚的折射率为1.56。

4. 多色性

无多色性。

5. 发光性

在长、短波紫外线下钙质珊瑚无荧光或具弱的白色荧光，黑珊瑚无荧光。

6. 吸收光谱

不特征。

（五）力学性质

1. 解理

无解理。钙质型珊瑚断口呈参差状至裂片状。角质型珊瑚断口为贝壳状至参差状。

2. 硬度

摩氏硬度为3～4。

3. 密度

钙质型珊瑚为2.60～2.70g/cm^3，通常为2.65g/cm^3；角质型珊瑚为1.30～1.50g/cm^3，平均为1.35g/cm^3

（六）内外部显微特征

在纵截面上珊瑚虫腔体表现为颜色和透明度稍有变化的平行波状条纹，在横截面上呈

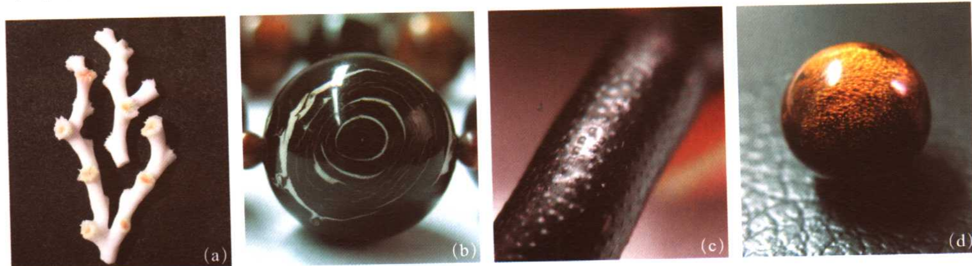


图3-4-19　珊瑚的结构

(a) 珊瑚原枝上的放射状结构；(b) 黑珊瑚横截面"年轮"状结构；
(c) 黑珊瑚枝表面的小丘疹状突起；(d) 抛光金珊瑚浅表层仍可见"小丘疹"状颗粒

放射状、同心圆状结构（见图3-4-19（a））。黑珊瑚和金珊瑚横截面显示环绕原生枝管轴的同心环状结构（见图3-4-19（b）），与树木年轮相似，纵面表层具有独特的小丘疹状外观（见图3-4-19（c）、（d））。

（七）其他

1. 可溶性

钙质型珊瑚易被酸溶蚀，在不显眼的地方滴一小滴稀盐酸，产生大量气泡。角质型珊瑚遇酸不起泡。

2. 热效应

珊瑚在珠宝工匠用的喷灯或吹管的火焰中会变黑。角质型珊瑚加热后散发出蛋白质烧焦的臭味。

二、珊瑚的品种

按照成分和颜色可将珊瑚划分为两类五种。

（一）钙质型

主要由碳酸钙组成，含有极少的有机质，主要包括三个品种。

1. 红珊瑚

又称为贵珊瑚。通常呈浅至暗色调的红至橙红色，有时呈肉红色（见图3-4-20）。主要分布于太平洋海域。

2. 白珊瑚

分布于南中国海、菲律宾海域、澎湖海域、琉球海域和九州西岸等，为白、灰白、乳白、瓷白色的珊瑚（见图3-4-21）。主要用于盆景工艺。

3. 蓝珊瑚

蓝色、浅蓝色珊瑚（见图3-4-22）。



图3-4-20 各种颜色的红珊瑚



图3-4-21 白珊瑚





图3-4-22 蓝珊瑚
（a）蓝珊瑚枝；（b）蓝珊瑚饰品

（二）角质型珊瑚

主要成分为有机质，包括两个品种。

1. 黑珊瑚

灰黑至黑色珊瑚（见图3-4-23），几乎全由角质组成。

2. 金珊瑚

金黄色、黄褐色角质型珊瑚（见图3-4-23）。金黄色珊瑚外表有清晰的斑点和独特的丝绢光泽。



图3-4-23 金珊瑚和黑珊瑚饰品

三、珊瑚与相似品的鉴别

珊瑚原石具有独特的外观形态及特殊结构，很容易将它与其相似的宝石区别开来，其成品则较难鉴别。珊瑚的相似品有染色骨制品、染色大理岩、染色贝壳、海螺珍珠、吉尔森珊瑚、红玻璃、红塑料和木材（见表3-4-9）等。

表3-4-9 红珊瑚及仿制品的鉴定特征

名称＼性质	颜色	透明度	光泽	n	$\rho/g\cdot cm^{-3}$	H_M	断口	其他特征
红珊瑚	血红色、红色、粉红色、橙红色	不透明到半透明	油脂光泽	1.48～1.65	2.70（±0.05）	3～4	平坦	具有平行条纹、同心圈层，颜色不均。有虫穴凹坑，遇酸起泡
“吉尔森”珊瑚	红色，颜色变化大	不透明	蜡状光泽	1.48～1.65	2.44	3.5～4	平坦	颜色分布均匀，具微细粒结构，遇酸起泡
染色骨制品	红色	不透明	蜡状光泽	1.54	1.70～1.95	2.5	参差状	颜色表里不一，摩擦部位色浅，片状特性，具骨髓、鬃眼等特征，不与酸反应
染色大理石	红色	不透明	玻璃光泽	1.48～1.65	2.7（±0.05）	3	不平坦	具粒状结构，遇酸起泡，并使溶液染上颜色
红色塑料	红色	透明到不透明	蜡状光泽	1.49～1.67	1.4	<3	平坦	用热针接触有辛辣味，铸模痕迹明显，常有气泡包体，不与酸反应
红色玻璃	红色	透明到不透明	玻璃光泽	1.635	3.69	5.5	贝壳状	常有气泡包体，不与酸反应
染色珊瑚	红色	不透明	蜡状光泽	1.48～1.65	2.7（±0.05）	3～4	平坦状	用蘸有丙酮的棉签擦拭可使棉签着色，遇盐酸起泡
贝珍珠	淡红色、粉红色	不透明	蜡状光泽	1.486～1.658	2.85	3.5	参差状	“火焰状”结构，遇酸起泡

1. 染色骨制品

染色骨制品，通常是用牛骨、驼骨或象骨等动物骨头染色或涂层后仿制的珊瑚。可依据珊瑚与骨类各自的结构特点进行区分。

横切面，珊瑚具有放射状、同心圆状结构，骨制品则具圆孔状结构；纵切面，珊瑚具连续的波状纹理，而骨制品具断续的平直纹理（见图3-4-24）。另外珊瑚还具白心、白斑等特点。



图3-4-24 染色骨制品

另外，二者颜色特征不同，珊瑚红色为自然产生，通体一色。染色骨制品表里不一，并且会掉色，颜色可变浅，涂层者表面会有脱落，钻孔处呈现白色。

断口：珊瑚性脆，断口较平坦；骨制品性韧，断口呈参差不齐的锯齿状。

珊瑚与稀酸反应，而骨制品不与酸反应。

珊瑚叩之声脆悦耳，骨类沉闷浑浊。

2. 染色大理岩

染色大理岩不具有珊瑚的构造，而呈粒状结构，颜色分布于颗粒边缘，染色剂勾勒出其

粒状结构（见图3-4-25），用蘸有丙酮的棉签擦拭时，棉签会被染色。染色大理岩与稀酸反应，反应后的溶液呈红色，而红珊瑚与稀酸反应，溶液依旧是白色。

3. 染色贝壳

染色贝壳常用来仿制粉红色珊瑚。贝壳表面呈珍珠光泽，具有层状结构，染色后颜色在层间聚集（见图 3-4-26）。可用溶剂擦拭或用稀酸检验。

4. 海螺珍珠

一些海螺珍珠的颜色和外观与珊瑚很相似，但海螺珍珠的光泽具有一定的方向性，低倍镜下可观察到火焰状图形（见图3-4-27），具有明显的成层的粉红色和白色图案。此外，海螺珍珠的密度为 2.85g/cm³，比珊瑚大。



图 3-4-25 染色大理岩仿红珊瑚



图 3-4-26 染色贝壳



图 3-4-27 海螺珍珠表面的火焰状图形

5. “吉尔森珊瑚”

“吉尔森珊瑚”是用方解石粉末加上少量染料在高温、高压下粘制而成的一种材料。这种材料的颜色变化范围很大。

“吉尔森珊瑚”的颜色、光泽和外观特征与天然珊瑚很相像。只是其颜色分布很均匀，在 10 × 放大镜下看不到珊瑚所具有的条带状构造及同心圆状构造，只能发现细微粒状结构。其密度为 2.45g/cm³，比天然珊瑚小。

6. 红玻璃

玻璃仿珊瑚具有明显的玻璃光泽，含有气泡，旋涡纹和贝壳状断口，不具珊瑚特有的结构和构造。摩氏硬度较大，可达到 5 以上，遇酸不起泡。

7. 红塑料

塑料仿珊瑚上常留下模具的痕迹，表面不平整，硬度低，密度小（1.05～1.55g/cm³），遇酸不起泡，其内可能存在气泡包体。

8. 木材

质地较软，可用指甲刮破，可见人造表面下边的木质结构，可以漂于水面上，不与酸反应。

四、珊瑚的优化处理及其鉴别

1. 漂白

珊瑚制成细胚后，通常要用双氧水漂白去除其浑浊的颜色，尤其是死枝珊瑚，如未经过漂白处理即呈浊黄色。一般深色珊瑚经漂白后可得到浅色珊瑚，如黑色珊瑚可漂白成金黄色，而暗红色珊瑚可漂白成粉红色。

2. 染色珊瑚

是将白色珊瑚浸泡在红色或其他颜色的有机染料中染成相应的颜色。最简单的鉴别方法是，用蘸有丙酮的棉签擦拭，若棉签被染色，即可确定为染色珊瑚。另外染色珊瑚的颜色单

调而且表里不一，染料集中在小裂隙及孔洞中，颜色外深内浅，着色不均（见图3-4-28）。染色珊瑚佩戴后，容易褪色或失去光泽。

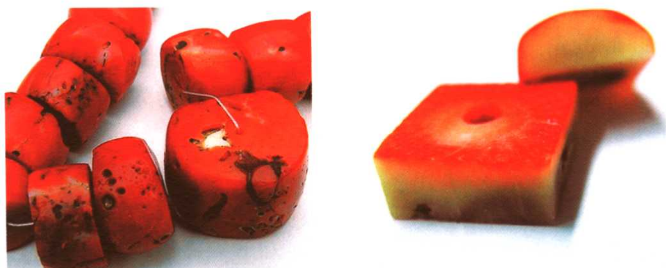


图3-4-28 染色红珊瑚（左）及其剖面（右）

3. 充填处理

用环氧树脂等物质充填多孔的劣质珊瑚（见图3-4-29）。经充填处理的珊瑚，其密度低于正常珊瑚；在热针试验中，充填珊瑚可有树脂等物质析出。

4. 覆膜处理

对质地疏松或颜色较差的珊瑚进行覆膜处理，常见的材料是黑珊瑚。覆膜黑珊瑚光泽较强，丘疹状突起较平缓（见图3-4-30），用丙酮擦拭有掉色的现象。



图3-4-29 充填处理蓝珊瑚浅蓝色充填物聚集于管道中



图3-4-30 覆膜处理黑色珊瑚

五、珊瑚的质量评价

珊瑚的质量评价从颜色、块度、质地和做工精细程度四方面进行，其中颜色是最重要的因素。

1. 颜色

工艺上对珊瑚颜色的要求是纯正而鲜艳。对于钙质珊瑚来讲，以红色为最佳，红色质量排列顺序为鲜红色、红色、暗红色、玫瑰红色、淡玫瑰红色、橙红色。白珊瑚以纯白色为最佳，依次为瓷白色、灰白色。有机珊瑚中的黑色珊瑚、金黄色珊瑚都是很名贵的。

2. 块度

要求越大越好，大而完整。高大者可做雕刻佳品，小者做小件首饰。

3. 质地

质地致密坚韧、无瑕疵者为好，有白斑、白心者为次。而有虫蛀或虫眼、多孔、多裂纹者价值低。

4. 做工精细度

除造型美观外，还要看雕刻工艺的精细程度。

六、珊瑚的产地简介

珊瑚多产于岩岸和沙岸的交接处，其产区相当广大，代表区域如下。

1. 太平洋海区

主要是日本琉球群岛和中国台湾东岸、澎湖列岛及南沙群岛，水深100～200m的海床上盛产白珊瑚。中国台湾是当代红珊瑚最重要的产地，年产量约为2×10^5kg，占世界总产量的60%，红珊瑚约在水深100～300m的海床上呈群体产出。

2. 大西洋海区

地中海沿岸的国家，如意大利、阿尔及利亚、突尼斯、西班牙、法国等，是世界上红珊瑚的主要产区。其中最佳的红珊瑚来自非洲阿尔及利亚、突尼斯和欧洲西班牙沿海，意大利的那不勒斯则是红珊瑚最著名的加工区。

3. 夏威夷西北部中途岛附近海区

该地区是红、粉红色珊瑚产地。

第四节　象　牙

象牙材质温润细腻，色泽特别，作为高档饰品历史悠久，市场效应使大象濒于灭绝。为了保护这种珍奇动物，维护地球的生态系统，已有许多国家禁止进行象牙贸易，大象被国际上列为一级保护动物。

一、象牙的基本性质

（一）宝石名称

象牙（Ivory）。

（二）化学成分

象牙的化学组成包括磷酸盐和有机质两部分。有机成分主要是胶质蛋白和弹性蛋白。



图3-4-31　象牙外观

（三）象牙的常见形态及截面特征

象牙一般呈弧形弯曲的角状，几乎一半是中空的。每只象牙平均重6.75kg，长为1.5～2.0m，但现代象牙由于生长时间短，一般长60～70cm。

象牙的根截面多呈圆形、近圆形、浑圆形，直径随品种、生长期和部位而异。一般生长期长的象牙横截面直径较大，同一根象牙从牙尖到牙根横截面直径逐渐变大（见图3-4-31）。



图3-4-32 象牙横截面的勒兹纹理线

象牙的横截面具有特征的“Retzius”纹理（勒兹纹理线），亦称旋转引擎纹理线，具体表现为由两组呈十字交叉状的纹理线以大于115°或小于65°角相交组成的菱形图案（见图3-4-32）。

象牙的横截面还具有分层结构，即从象牙的中心到外表面具有分层现象，且分界线较清晰，见图3-4-33。各层厚度随象

牙品种、生长期和部位不同而异。一般象牙从外到内分为四层：Ⅰ层（最外层）为致密状或同心圆状层，很薄，仅0.5～3mm；Ⅱ层（次外层）为粗勒兹线层，“Retzius”纹理线组成的斜十字交叉状菱形图案，纹理线夹角较大，可至124°左右，纹理线间距较宽，为1～2.5mm；Ⅲ层（次内层）为细勒兹线，纹理线夹角较Ⅱ层小，平均在120°左右，纹理线间距很窄，为0.1～0.5mm；Ⅳ层（内层）为致密状或空腔状。

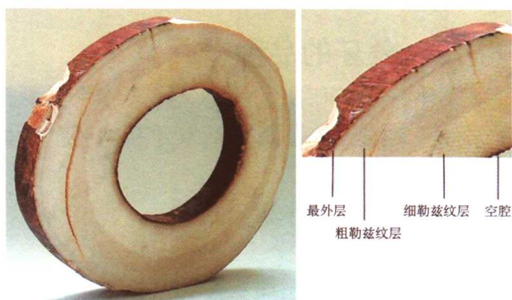


图3-4-33 象牙的分层现象

象牙纵截面上呈现近于平行的波纹线。

（四）光学性质

1. 颜色

象牙新鲜时呈白色、奶白色、瓷白色、淡玫瑰白色，偶见浅金黄色、白色、淡黄色、黄色、浅褐黄色。史前象牙常呈蓝色，偶尔呈绿色。

2. 光泽、透明度

具有美丽柔和的油脂光泽或蜡状光泽，呈不透明至透明，多呈微透明至半透明。

3. 光性

正交偏光镜下无消光位。

4. 折射率与双折射率

折射率为1.535～1.540，无双折射率，点测法常为1.540。

5. 多色性

无多色性。

6. 发光性

在长短波紫外线下发弱至强的蓝白色至蓝紫色荧光，X射线照射下不发光。

（五）力学性质

1. 解理、断口

无解理，断口呈裂片状、参差状。

2. 硬度

摩氏硬度为2～3，能被方解石或铜针刻划。

3. 密度

1.70～2.00g/cm^3，通常为1.85g/cm^3。

4. 韧性

象牙的韧性极好。

（六）显微特征

具Retzius纹理线。

（七）其他

可溶性和热效应　象牙短时间浸泡于酸中不会褪色，但可以被软化，长时间用酸浸泡象

牙可能被分解；象牙遇热会收缩。

二、象牙的品种

象牙有广义和狭义两种，狭义的象牙专指大象的长牙和牙齿，有非洲象牙和亚洲象牙之分，而广义的象牙是指包括象牙在内某些哺乳动物的牙齿，如河马、海象、一角鲸、疣猪和鲸等动物的牙。

狭义象牙品种作如下划分。

1. 非洲象牙

非洲象牙是指非洲公象和母象的长牙和小牙。有白色、绿色等颜色，质地细腻，截面上带有细纹理。

2. 亚洲象牙

亚洲象牙是指亚洲公象和母象的长牙，颜色多为纯白色，少见淡玫瑰白色，但质地较疏松柔软，容易变黄。

三、象牙的优化处理及其鉴别

象牙的优化处理主要是漂白、浸蜡和染色。

（一）漂白

对于新鲜的具有黄色的象牙或陈旧变黄的象牙制品，可以进行漂白，利用漂白液等具有氧化性的试剂与存在于象牙间隙里的有机质作用，使蛋白质中的着色物质发生反应生成简单的有机物溶解出来，或破坏其着色物的结构，使其颜色褪去或发生改变达到优化的效果。稳定，不易检测。

（二）浸蜡

象牙表面浸蜡可以增强其光泽，以改善外观。可见表面蜡感，不易检测。

（三）染色

象牙可以染色，以产生古象牙的外观。只要溶液浓度、温度、时间适当，可染成各种颜色。放大检查可见颜色沿结构纹浓集或见色斑。

四、象牙与相似品的鉴别

与象牙相似的品种有其他类动物的牙及史前动物牙：海象牙、河马牙、一角鲸牙、抹香鲸牙、公疣猪牙、猛犸牙。另外还有骨制品（牛骨、象骨）、植物象牙（杜姆棕榈坚果和埃及棕榈坚果）和塑料及胶制品。

1. 河马牙

河马牙呈纯白色，结构比象牙细腻，横截面上具密集排列的略呈波纹状的同心线，同心线的波纹较象牙短。折射率较象牙稍高，为1.545；密度也较象牙略大，为1.80～1.95g/cm^3。河马牙结构细密，因此不易被玷污。

2. 一角鲸牙

横截面呈带棱角的同心环，而且是中空的。纵切面结构粗糙，波状纹理比象牙有更多的分枝。一角鲸牙的密度较大，为1.90～2.00g/cm^3；硬度为2.5；折射率比象牙高，为1.56。

3. 抹香鲸牙

抹香鲸牙的横截面明显地分为内部和外部两个部分，且两部分均可见到同心环构造。在纵切面上，外层部分可见到随牙齿形状而弯曲的平行线。其内部有两组相等的平行线，交汇处呈V字型，有时出现瘤状区。抹香鲸牙的密度为1.95g/cm³，硬度（H_M）为2.63，折射率为1.560，比象牙都略高。

抹香鲸牙的内部是淡黄或淡褐色，外部比内部要略白。

4. 海象牙

海象牙的结构明显地分为内外两部分。它的内部有独特的大理岩状或瘤状外观，结构粗糙，纹理呈波状起伏，但波幅较低，分枝明显。海象牙的折射率为1.55～1.57，硬度（H_M）为2.5～2.75，密度为1.90～2.00g/cm³。

5. 疣猪牙

显微镜下观察，疣猪牙的波纹线较平缓，且波长较短。横切面为三角形，部分中空。紫外荧光下呈现较强的均匀的紫色—蓝色荧光，而象牙的荧光为弱至强蓝白色—蓝紫色。疣猪牙的折射率和密度比象牙略高。其折射率值为1.560，密度为1.95m/cm³。

6. 猛犸象牙

一种石化牙，外观与象牙很相似，但常有指向外表面的裂纹（见图3-4-34）。折射率为1.54，密度为1.8g/cm³。

7. 骨制品

致密骨制品与象牙制品在外观上很相似，其折射率和密度（分别为1.54和2.0g/cm³）也与象牙相近。动物骨骼具空心管状构造，在横切面上这些细管呈现为圆形或椭圆形（见图3-4-35），在纵切面上则表现为线条状。污垢可以渗入这些管中，使它们更为明显。另外骨骼的硬度（H_M）为2.75，高于象牙。

8. 棕榈坚果

棕榈坚果又叫做植物象牙，其质地、颜色、光泽与象牙相近，可作为象牙的仿制品（见图3-4-36）。常见品种有下述两种。



图3-4-34 猛犸象牙

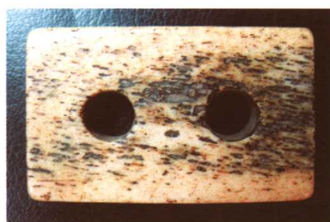

图3-4-35 骨制品表面的椭圆形管道开口


图3-4-36 棕榈坚果装饰品

杜姆棕榈坚果，生长在巴西、秘鲁及南美洲大部分温暖地区森林中矮棕榈树的种子，鸡蛋般大小，呈蛋白色或白色，表面粗糙。其硬度、折射率和荧光特征与象牙相近，但它们的结构不同，象牙棕榈坚果的横切面上呈蜂巢状结构，纵切面上则为平行粗直线，线条中还具有细胞结构。在硫酸中浸泡，象牙不会褪色，而坚果表面则呈现玫瑰色调，很容易染色。坚果的密度为1.40～1.43g/cm³，比象牙的（1.70～1.85g/cm³）低。坚果的韧性比象牙好，可用刀片切削，易于加工。

埃及棕榈坚果，产于埃及和中非，它不如杜姆坚果稳定，原先较坚硬，随时间的推移可

能分解。其外观与象牙相似，质地稍软。埃及棕榈坚果的横切面呈密集分布的繁星状结构，纵切面呈断续的波纹线或蠕虫状。密度比象牙低，为1.36～1.40g/cm³。

9. 塑料及胶制品

赛璐珞是最常见和最有效的象牙仿制材料。为了模仿象牙纵切面的条纹而把塑料压成薄片，但这种条纹比象牙的规则得多，而且不能产生“旋转引擎”花纹。赛璐珞的折射率为1.50左右，有时还可以达到1.52，比象牙的折射率略低；密度与象牙的相近；赛璐珞的韧性好，具有可切性；硬度（H_M）为2，比象牙的低。

胶制品是用特别的胶加些骨粉压制而成的，与象牙的区别是密度较小（1.25～1.50g/cm³），且无勒兹纹理。

五、象牙的质量评价

象牙的质量评价可从以下四个方面进行：颜色、质量、质地和透明度。以颜色罕见或是纯白色、半透明、质地致密、坚韧、纹理线细而质量大、做工精细者为优等品（见图3-4-37），而颜色发黄、块体小、结构疏松的象牙价值较低，甚至失去珠宝的价值。



图3-4-37 象牙摆件

六、象牙的产地简介

象牙主要产于非洲，如坦桑尼亚、塞内加尔、埃塞俄比亚、加蓬等，以坦桑尼亚的潘加里附近产的象牙质量为最佳，其次是亚洲的泰国、缅甸和斯里兰卡。

第五节　煤　精

煤精又称煤玉、黑炭石，是一种光泽强、质密体轻、坚韧耐磨的黑色有机岩石。煤精是褐煤的一个变种，由树木埋置于地下转变而来。是某些低等植物死后埋于地下，经过长期地质作用，受压力和温度的影响，植物腐烂成腐殖质，并埋葬在细粒淤泥中，然后转变成硬质的页岩，称为煤玉岩。从岩石学角度来看，煤精属于腐殖质和腐泥质的混合物。

煤精用于装饰品和工艺品已有悠久的历史，早在古罗马时代就是最流行的“黑宝石”之一，在欧洲石器时代和北美印地安人部落的遗迹中都有煤精制品出现。因其色泽黝黑凝重，在19世纪英国维多利亚时代煤精常被用来制成治丧珠宝，象征着悲痛和懊悔，以表示对死者的悼念。



图3-4-38 煤精雕件及原料

在中国，煤精也是出土文物中最早的玉石品种之一。在距今6800～7200年的沈阳新乐文化遗址中发现了磨制的圆形、圆珠等煤精饰物，是目前发现最早的煤精制品。煤精是中国传统的雕刻工艺原料之一，其质地细密坚韧，适宜雕刻各种工艺品，从装饰品到实用品，品种繁多，如文房四宝、烟具、配饰等，都是具有独特风格的工艺美术品（见图3-4-38）。

一、煤精的基本性质

（一）宝石名称

煤精（Jet）。

（二）化学成分

煤精成分变化很大，其主要化学成分是C[w(C)=77.76%]，之外还有H[w(H)=6.74%]、O[w(O)=13.14%]、N[w(N)=1.66%]、S[w(S)=0.66%]及少量的矿物质（$w_{矿物}$=1.7%），如石英、长石、粘土矿物、黄铁矿等。

（三）结构、形态

煤精呈无定形态，常见集合体为致密块状。

（四）光学性质

1. 颜色

黑色、褐黑色，条痕为褐色。

2. 光泽、透明度

具明亮的树脂光泽，抛光后可呈玻璃光泽，不透明。

3. 折射率

点测值为1.66(± 0.02)。

4. 条痕色

褐色。

（五）力学性质

1. 断口

煤精具平坦或贝壳状断口。性脆，刀切会产生缺口和碎末，粉末为褐色。

2. 硬度

摩氏硬度为2～4。

3. 密度

1.32(± 0.02)g/cm^3。

（六）其他

1. 电学性质

用力摩擦可带（静）电。

2. 热效应

煤精具可燃性，呈煤烟状火焰。用热针尖接触时发出燃烧煤炭的气味。加热到100～200℃时质地变软，并可弯曲。

3. 可溶性

酸可使其表面光泽变暗。

二、煤精与相似品的鉴别

煤精的相似材料有黑玉髓、黑色电气石、黑色石榴石、黑曜岩、黑珊瑚、黑色玻璃、电

木（酚醛树脂）、胶木及塑料等（见表3-4-10）。除黑珊瑚外，其他材料的硬度、密度均高于煤精，手感较凉，热针试验无燃烧炭味。在热针试验中，电木会发出辛辣味，胶木会发出橡胶的气味，不同的塑料可发出不同的异味，而煤精在热针试验中则发出煤炭燃烧时的气味。黑珊瑚原料呈树枝状，横切面具同心圆状生长结构，热针检验可嗅到烧焦的毛发味。无烟煤与褐煤外观上与煤精很相似，但它们质地不太致密，较轻且容易染手。

表3-4-10 煤精与相似宝石的鉴定特征

品种	n	ρ/g · cm^{-3}	H_M	手感	光 泽	热针实验	其 他
煤精	1.66 ±	1.30～1.40	2.5～4	温	树脂光泽至玻璃光泽	煤烟味	粉末褐色，不污手
黑玉髓	1.530 ±	2.60	6.5～7	凉	玻璃光泽	无反应	贝壳状断口
黑色石榴石	1.875 ±	3.83	7	凉	玻璃光泽	无反应	贝壳状断口
黑曜岩	1.490 ±	2.40	5～5.5	凉	玻璃光泽	无反应	贝壳状断口
黑珊瑚	1.56 ±	1.3～1.5	3	温	蜡状光泽致玻璃光泽	烧焦的毛发味	树枝状生长年轮

三、煤精的质量评价

煤精质量评价可从以下五个方面进行：颜色、光泽、质地、瑕疵、块体。颜色越黑越好，纯黑色者为佳品，如果带褐色则较差。光泽以明亮的树脂光泽或沥青光泽为好，光泽弱者为次。质地致密细腻者是上品。无裂纹杂斑者质量好。块体愈大愈好。

四、煤精的产地简介

世界优质煤精的主要产地是英国约克郡惠特比附近的沿岸地区。法国朗格多克省，西班牙阿拉贡、加利西亚、阿斯图里亚，美国科罗拉多州埃尔帕索县，德国符泰堡，加拿大斯科舍省皮克图和美国犹他州也有煤精产出，但质量较差。另外还有意大利、捷克、斯洛伐克、俄罗斯、泰国等国家也产煤精。

中国的煤精产出地以辽宁抚顺为主，其次为鄂尔多斯盆地。山西浑源、大同和山东兖州、枣庄等地的煤矿中出产属于烛煤的煤精。

第六节　龟　甲

龟甲具有美丽的斑纹，半透明至微透明，有很好的韧性和加工性能，所以很早就被用来制成手镯、戒指、手链、发饰、服饰和首饰盒、扇、梳篦、刀柄等实用精美的工艺品。汉代诗篇《孔雀东南飞》中就有“足下蹑丝履，头上玳瑁光”的诗句。在亚洲，玳瑁饰品被视为吉祥、长寿之珍宝，认为常佩戴有趋吉、辟邪、纳福的作用，因产量稀少，历代多沿袭相传。玳瑁工艺品色似琥珀，温润细致，华贵高雅，具有很高的装饰、收藏和观赏价值。



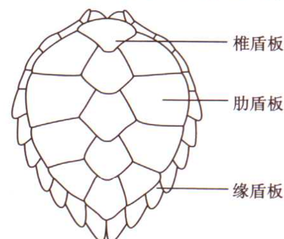


图3-4-39 玳瑁龟（左）及玳瑁龟甲的结构（右）

玳瑁龟一般长60～80cm，体大者可达100cm，体重50kg左右，背甲共有13块，作覆瓦状排列，重约3kg。玳瑁龟甲不仅可以用作装

饰品，还可入药，据《本草纲目》记载，玳瑁为中药良方之一，合药能治冷嗽降火气。由于历年来过量捕捉，现在玳瑁龟已成为珍稀的海洋动物，被列为国家二级保护动物（见图3-4-39）。

一、龟甲的基本性质

（一）宝石名称

龟甲（Tortoise shell）。

（二）化学成分

由角质和骨质等有机质组成，主要成分为复杂的蛋白质。

（三）光学性质

1. 颜色

底色为黄褐色，其上可有暗褐色、黑色或绿色斑点。

2. 光泽、透明度

油脂光泽至蜡状光泽，微透明。

3. 光性

非晶质、各向同性。

4. 折射率、双折射率

折射率 1.550(－0.010)，无双折射率。

5. 发光性

长、短波紫外光下无色，龟甲中的黄色部分可有蓝白色荧光。

（四）力学性质

1. 解理

无解理，断口不平坦且暗淡。

2. 硬度

摩氏硬度为2～3，韧度很好。

3. 密度

1.29(＋0.06，－0.03)g/cm^3

（五）显微特征

龟甲中常具有美丽不规则的斑点，多呈褐色、黄色、黄褐色相混杂。在显微镜下观察，可见其色斑由许多红色圆形色素小点组成，是鉴定玳瑁的主要特征（见图3-4-40）。色点越密集则颜色就越深。

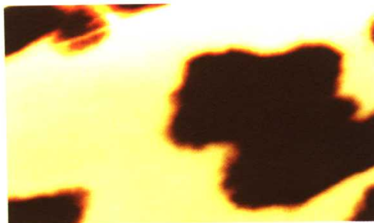


图3-4-40 玳瑁的色斑特征

（六）其他特征

易受硝酸侵蚀，但不与盐酸发生反应。龟甲受高温颜色会变暗，燃烧时会发出头发烧焦的气味。在沸水中龟甲会变软。

二、龟甲与其仿制品的鉴别

（1）与仿制品的区别　龟甲的仿制品主要是塑料，但龟甲的特殊结构是塑料所仿制不出来的。可以从以下几方面鉴别。



图 3-4-41　塑料仿制品的色斑和小气泡

显微特征　龟甲上的色斑是由许多球状颗粒组成的，这种结构在塑料仿制品中是见不到的。塑料中所见到的颜色呈现为条带状，色带间有明显的界线，塑料具有铸、模的痕迹，有气泡包体（见图 3-4-41）。

折射率　龟甲的折射率为 1.55，塑料仿制品的折射率大致范围为 1.50～1.55。

密度　龟甲的密度为 1.2g/cm³，塑料仿制品的密度为 1.49g/cm³。

热针检查　龟甲会发出头发烧焦的气味，而塑料仿制品发出辛辣味。

与酸反应　龟甲会被硝酸侵蚀，塑料仿制品不与酸反应。

（2）拼合龟甲　是将一片薄的龟甲粘合在塑料底座上，或把两片龟甲分别以底或面粘在颜色相近的塑料上，使之变厚。拼合龟甲的折射率、密度及色斑都与龟甲相似，具有一定的欺骗性，可通过放大检查从侧面观察有无粘合的痕迹及接缝处的气泡来加以判断。

（3）压制龟甲　用龟甲的碎片或粉末，在加热加压情况下粘合在一起而成。这种压制成的龟甲颜色变深，没有通透的斑纹，缺少天然图案美感。

三、龟甲的质量评价

龟甲的质量评价主要取决于透明度、厚度、颜色斑纹、玳瑁龟的龟龄等因素，以透明度高、厚度大、斑纹清晰且颜色和底色的搭配适宜、龟龄长者为佳。此外，龟甲斑纹的珍奇独特程度、龟板的采获条件和龟甲的加工工艺、造型、款式、粘结、抛光等都会对成品质量和价值产生影响。

四、龟甲的产地简介

玳瑁龟主要栖息在热带和亚热带水深为 15～18m 的浅泻湖内。主要产地有印度洋、太平洋和加勒比海。

第七节　贝　壳

贝壳（shell）是指许多贝类、蚌类、海螺类等软体动物所具有的钙质硬壳。人类对贝壳的应用由来已久，北京周口店山顶洞人就开始用打孔的贝壳制成装饰品，这应该是人类最早的饰品。贝壳在远古时代还曾经作为钱币使用。现在贝壳被用来制作纽扣、珠子、弧面宝石、镶嵌品、贝雕、盒子和家具的镶嵌品等，应用更加广泛。

一、贝壳的基本性质

（一）物质组成

贝壳的无机成分主要为文石、方解石。

贝壳主要由三层组成，其最外侧为介壳质组成的表壳层（壳皮），中间是由晶质碳酸钙

(通常是方解石)棱柱体组成并由介壳质粘结的晶质层(壳层)。这两层都是由外套膜边部的细胞分泌的，一旦形成后，其厚度不再增加。第三层，主要由叠覆的文石片状晶体组成并由介壳质粘结，称为珍珠质层(底层)，它是由外套膜的全部外表面分泌的并在软体动物存活期间随时间增厚(见图3-4-42)。晕彩是光从珍珠质层内部反射出时发生干涉效应的结果。习惯上，将贝壳内壁的珍珠质层称为珠母（质）。

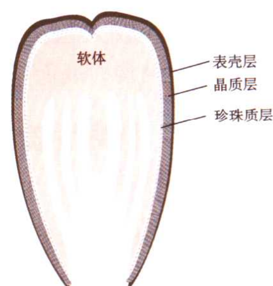


图3-4-42 贝壳的结构

（二）化学成分

贝壳的化学成分与珍珠类似。无机成分：$CaCO_3$，约占90%左右，以及少量的水(<1%)；有机成分：碳氢化合物（天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸等），约占10%左右。含有多种微量元素，如Si、Al、Mg、Si、K、Fe、Rb、Cu、P等。

（三）结晶状态

无机成分：斜方晶系（文石），三方晶系（方解石），呈放射状集合体。

有机成分：非晶质。

（四）光学性质

1. 颜色

常见颜色：可呈各种颜色，一般为白、灰、棕、黄、粉等色（见图3-4-43）。

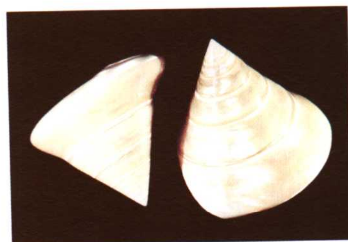


图3-4-43 贝壳

2. 光泽

油脂光泽至珍珠光泽。

3. 光性特征

集合体。

4. 多色性

无。

5. 折射率和双折射率

折射率1.530～1.685；双折射率0.155，集合体不可测。

6. 紫外荧光

因贝壳种类而异。

7. 吸收光谱

不特征。

（五）力学性质

1. 解理

无。

2. 硬度

摩氏硬度为3～4。

3. 密度

2.86(+0.03，-0.16)g/cm^3。

（六）放大检查

层状结构，表面叠复层结构、“火焰状”结构等（见图3-4-42）。

（七）特殊性质

遇盐酸起泡。

（八）特殊光学效应

可具晕彩效应，珍珠光泽。

二、贝壳的品种

贝壳的品种很多，据称有11万多种。其中重要的可作饰品的贝壳有砗磲贝、鲍鱼贝、三角帆蚌、背瘤丽蚌、马蹄螺贝、黑蝶贝、白蝶贝、珍珠牡蛎贝等。

三、贝壳的优化处理

（一）覆膜处理

贝壳表面覆涂珍珠精液等材料，可仿珍珠，放大检查，可见部分薄膜脱落，表面光滑无砂成光泽异常，内部呈层状结构（见图3-4-44）。

（二）染色处理

贝壳可染成各种颜色，放大检查可见粒层间或粒隙颜色集中（见图3-4-45）。



图3-4-44 覆膜贝壳



图3-4-45 染色贝壳

四、贝壳的质量评价

优质的贝壳要求颜色丰富或洁白无瑕，珍珠光泽强，有强的伴色或晕彩，无裂纹或其他瑕疵，块度（厚度）大，形状好。

五、贝壳的产地

贝壳生活在水域中，如大海、湖泊及大的河流之中，世界上水域发育的国家均有产出。

第八节　硅　化　木

硅化木（pertrified wood）是埋于地下亿万年的树木被SiO_2交代，并保留了其木质结构外观的木化石。硅化木因其质地细腻、坚硬、色泽丰富又有清晰的纹路，古拙典雅、历经沧桑、刚直有力，而成为制作山石盆景、装饰工艺品、首饰的绝佳材料。

一、硅化木的基本性质

（一）矿物组成

硅化木的矿物组成主要为石英类矿物，根据其结晶程度和石化程度的不同，可有隐晶质石英、玉髓、蛋白石及方解石、白云石、褐铁矿、黄铁矿等。

（二）化学成分

无机成分：$SiO_2 \cdot nH_2O$，常含Fe、Ca、Mg、Al、P等其他元素；有机质：碳氢化合物，有氨酸、颉氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、蛋氨酸、丝氨酸等。

（三）结晶习性

隐晶质集合体至非晶质体，常呈纤维状集合体。

（四）光学性质

1. 颜色

常见颜色有浅黄至黄、红、黄褐、红褐、褐、棕、黑、灰、白等颜色（见图3-4-46）。



图3-4-46 黄褐色的硅化木

2. 光泽、透明度

抛光面具玻璃光泽，半透明至不透明。

3. 光性特征

非均质集合体或均质集合体。

4. 多色性

无。

5. 折射率和双折射率

折射率1.544～1.553，一般为1.54或1.53（点测法）。双折射率0～0.009，集合体不可测。

6. 紫外荧光

一般无。

7. 吸收光谱

不特征。

（五）力学性质

1. 解理

无。

2. 硬度

摩氏硬度为7。

3. 密度

$2.50g/cm^3$～$2.91 g/cm^3$。

（六）放大检查

隐晶质—粒状结构，木质纤维状、木纹状、年轮状构造（见图3-4-47）。



图3-4-47 硅化木的年轮

（七）特殊光学效应

未知。

二、硅化木的品种

硅化木按物质成分及SiO_2存在的状态可分为普通硅化木、玉髓硅化木、蛋白石硅化木、

钙质硅化木等。

(1) 普通硅化木

硅化木的矿物成分以隐晶质石英为主，颜色与树木原来的颜色有关，而且木质的内部结构清晰可见。

(2) 玉髓硅化木

硅化木的矿物成分以玉髓为主，质地坚硬，外观上像玛瑙，颜色有灰、黑、褐、绿、红等，木质结构仍较明显。

(3) 蛋白石硅化木

硅化木的矿物成分以蛋白石为主，质地致密，颜色较浅，有灰、灰白、浅土黄色等，木质结构也较明显。

(4) 钙质硅化木

硅化木的矿物成分仍以隐晶质石英为主，但伴有少量钙质，如方解石、白云石等。

三、硅化木的质量评价

硅化木的质量评价可以从颜色、质地、造型等方面进行。

(一) 颜色

硅化木的颜色要求鲜艳、绚丽多彩、反差大、光泽强。

(二) 质地

优质的硅化木要求质地致密、细腻、坚韧。相对来说玉髓硅化木优于其他硅化木。

(三) 造型

优质的硅化木要求完整，有枝节、印痕、年轮、木质结构清晰。

四、硅化木的产地

硅化木的主要产地有欧洲、美国、古巴、缅甸等。中国的主要产地是新疆、河北、云南、山东、甘肃、福建、辽宁等地。硅化木主要赋存于中生代陆相地层中，以松柏类为主；新生代地层中的硅化木则以被子植物为主。2001年新疆制定了国内第一部地方法规《硅化木保护条例》。

第四篇 人工宝石及宝石的优化处理

第一章 人 工 宝 石

人工宝石是相对于天然宝石而言的，是为缓解天然宝石供需矛盾而产生和发展的产物，是人工制作而非天然产出的宝石。人工宝石（artificial products）的定义是：完全或部分由人工生产或制造、用作首饰及装饰品的材料统称为人工宝石。换句话说，人工宝石是指人们运用现代科学技术的基本原理和方法，选用适宜的原材料，通过合理的工艺、技术流程，在实验室或工厂里制造出来的用作首饰及装饰品的材料。

人工宝石包括合成宝石、人造宝石、拼合宝石和再造宝石四大类。

随着社会的进步和科学技术的发展，人工合成宝石的方法和手段也在不断增多和更新，有些宝石还可以用多种方法合成。目前，常用的人工合成宝石方法有以下几种：① 焰熔法；② 冷坩埚法；③ 晶体提拉法和导模法；④ 助熔剂法；⑤ 水热法；⑥ 高温超高压法；⑦ 化学沉淀法。

除上述主要方法外，还有一些其他方法，主要是指利用玻璃、陶瓷、塑料或其他工艺制作人造宝石（如人造玻璃猫眼、人造夜光宝石及用玻璃等材质仿绿松石、仿欧泊、仿琥珀、仿珍珠等）、拼合宝石（蓝宝石拼合石、红宝石拼合石、拼合欧泊和石榴石拼合石等）和再造宝石（再造琥珀）的方法。

各种人工合成宝石的方法各有其制作原理、生产工艺和设备的特点。能够生长的宝石晶体有些与天然宝石是相同的，但天然宝石中某些宝石晶体只能在特定的条件下形成，人工的方法尚不能代替。

本章主要介绍目前应用性较强的人工合成宝石的方法和常见的人工宝石品种的鉴别。

第一节 焰熔法生长宝石晶体

早在1837年M. Gaudin（法国）用明矾加铬酸钾放入有炭黑层的黏土坩埚内熔化而生成片状的刚玉，1877年E. Fremy和Feil（法国）将Al_2O_3熔于PbO中，用20天长出小片状红宝石晶体，到1885年，他们俩又与Wyse（瑞士）用天然红宝石粉末加少量铬酸钾，用O_2和H_2火焰熔化长出了Geneva Rubies（日内瓦红宝石），但真正的成功是到1890年，法国化学家Verneuil改进了焰熔技术，并于1900年发表了以γ-Al_2O_3为原料，H_2、O_2火焰熔化生长出可用晶体的文章。自此，焰熔法被推广到工业中去。

焰熔法除生产合成红宝石外，还生产合成蓝宝石、合成尖晶石和人造钛酸锶等晶体。在人工宝石业中，这种方法及所生长的产品，占有相当重要的位置。

一、工作原理与装置

焰熔法也称火焰法，或称维尔纳叶法。顾名思义，它是用火焰把原料熔化在熔体中进行晶体生长的方法（见图4-1-1），是较重要的一种生长宝石的方法。

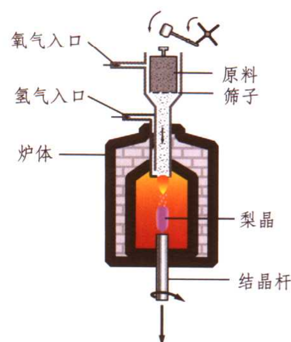


图4-1-1 焰熔法晶体生长装置示意图

焰熔法生长宝石装置由供料系统、气体燃烧系统、炉体和下降系统等部分组成。

供料系统　添加原料粉末于筛状平底容器中，在振动器有规律的振动下，粉末通过筛底均匀等量地落入氧气流内。

气体燃烧系统　这是熔化粉末的主要部件，氧气和氢气通过燃烧器燃烧，可产生高达2400～2500℃的温度。

炉体　炉体的作用是创造一个保温条件，使温度保持稳定，炉膛要求流线型，便于气体流动和不积粉。

下降系统　在下降过程中旋转平台均匀下降，一般平台每小时下降1cm。

焰熔法已有100多年的历史，它在人工宝石工业中占有相当重要的地位，是产量和规模最大、使用历史最长的一种方法。

二、原料制备

生长宝石所用原料的制备是生长出优质晶体的第一步。现以合成刚玉为例予以说明。

多年来国内外采用焰熔法合成宝石的实践经验证明，生长合成刚玉宝石晶体所用的原料以纯净、颗粒均匀、高分散、具有适当的堆积密度和流动性好的γ-Al_2O_3粉末最为理想。根据不同的用途和性能要求，通过在γ-Al_2O_3中加入不同的着色剂和改性剂，可以得到不同颜色和不同性能的刚玉宝石。因此，要获取所要求物化性状的粉料，如何选定合理的掺杂剂，如何确定宝石原料的焙烧程度是γ-Al_2O_3粉料制备过程中的两个关键环节。

1. 原料的掺杂

对不同颜色和不同用途的宝石，需在其中掺入不同的金属离子，金属离子的掺入量是根据以下因素确定的：① 对宝石不同色泽、光学和电学性能及用途的要求；② 宝石结构及物理特性（如硬度、韧性等）的要求；③ 在宝石粉料及晶体生长过程中的掺杂离子烧失量。

表4-1-1列出了合成刚玉原料的掺杂剂及颜色的关系。控制掺杂量很重要，量太少，颜色太淡；量太多，宝石容易裂。

掺杂是向硫酸铝铵矾中加入不同试剂，各种掺杂用的试剂如表4-1-2所示。

合成红宝石在熔化结晶过程中铬离子的烧失现象十分明显。由铬离子烧失情况的一组试验数据可以看出，当在铵明钒中加入铬离子的质量分数为0.875%时，经过焙烧，铬离子质量分数降低到0.80%～0.82%左右，烧失量约为7.4%。经过焰熔结晶铬离子质量分数降低到0.388%左右，烧失量约为55.7%。因此，确定原料中的掺杂量时，必须充分考虑到掺杂剂在焰熔结晶过程中的烧失量。

表 4-1-1 合成刚玉所采用的掺杂剂及掺入量

合成刚玉宝石颜色	掺 杂 剂	掺入量 w_B/%
深 红	Cr_2O_3	2～3
浅 红	Cr_2O_3	0.01～0.05
橙 黄	NiO	0.5
	Cr_2O_3	0.2～0.5
紫	TiO_2	0.5
	Fe_3O_4	1.5
	Cr_2O_3	0.5
蓝	TiO_2	0.5
	Fe_2O_3	1.5
变 色	V_2O_5	3～4
金 黄	NiO	0.5
	Cr_2O_3	0.01～0.05
绿	Co_3O_4	1.0
	V_2O_5	0.12
	NiO	0.3

表 4-1-2 各种掺杂剂所采用的试剂

掺 杂 剂	采 用 试 剂	掺 杂 剂	采 用 试 剂
NiO	$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ $NiSO_4 \cdot 7H_2O$	Fe_2O_3	$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ $(NH_4)_3Fe(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$
Co_3O_4	$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	V_2O_5	NH_4VO_3
Cr_2O_3	$NH_4Cr_3O_7$	MnO	$MnSO_4 \cdot 7H_2O$
TiO_2	$TiOSO_4 \cdot 2H_2O$	MoO	NH_4MoO_4

2. 铝铵矾的分解过程

γ-Al_2O_3的制备过程，就是铝铵矾的加热分解过程。其基本过程是使铝铵矾反复结晶以除去杂质，200℃下脱水形成无水多孔铝铵矾，再进行焙烧，挥发H_2O、SO_3、NH_3等，形成Al_2O_3。

铝铵矾在完全分解后，先形成无定形三氧化二铝，然后逐步转变形成γ-Al_2O_3粉料，其中必须准确地掌握使铵明矾完全分解为氧化铝的温度。我国科学技术工作者对此作了较系统的测定。测试结果表明，焙烧温度在950℃以下，保温2h较为适合。

三、晶体生长

进行晶体生长前应先按要求准备籽晶，种晶必须进行定向切割（用定向仪定向，也可用偏振光定向）。对于宝石晶体来说，生长方向主要考虑生产效率、晶体质量合成刚玉晶体一般采用生长轴与光轴成60°角左右，这样生长的晶体成品率高且不易开裂。

宝石晶体生长过程可分四个阶段：① 在籽晶上长出最初的晶芽。早期的工艺中，籽晶一

般为粉料烧结成的陶瓷体或已结晶晶体的一部分。目前，均已用种晶法代替晶芽的自发生长，如生长合成红宝石时，种晶采用合成红宝石。② 扩大籽晶的面积或称扩大籽晶的直径。③ 等径生长：晶体扩大到一定大小后，即处于等径生长阶段，一直维持到生长结束，成为倒梨形，即梨晶。在等径生长时，要使梨晶的生长晶面经常处于最适宜的生长温度区内，即所谓的结晶焦点上。最佳结晶条件是在梨晶的顶部保持2～3mm厚的熔融层，使落在这个层上的尚未结晶的粉料完全熔化，随后在晶体杆下降时于熔融层下凝固析晶。④ 退火处理：将合成晶体按规定装入高温炉之后，将炉温缓慢地升到预定的温度，然后进行长时间的恒温退火。由于未退火的合成宝石晶体热应力很大，若升温速度太快，晶体常因升温过程的热冲击而开裂。通常的升温时间为5～10h，温度上升到预定温度后，恒温几十个小时，再缓慢地降至室温，接近熔点的高温退火要严格控制温度，以防晶体回融。

四、焰熔法晶体生长工艺特点

1）此种方法不需要坩埚，既节约了坩埚材料又避免了晶体生长过程中坩埚的污染问题。

2）H_2、O_2燃烧可以达到很高的温度（2500℃以上），对难熔氧化物晶体生长非常合适。

3）生长速度快，有利于大规模生产并可降低成本。

4）生长设备较简单，能长出尺寸大的晶体，如宝石梨晶宽可达10～30mm，长500～1000mm。当然此法也有缺点，如生长时温度梯度大，晶体应力大，易开裂。

五、其他宝石的焰熔法生长

焰熔法除用于生长彩色刚玉系列宝石外，还常用于生产合成尖晶石、合成金红石、人造钛酸锶等氧化物类晶体，这里只作简单介绍。

1. 人造钛酸锶（$SrTiO_3$）

人造钛酸锶曾做为钻石代用品出现在宝石市场上，后因合成立方氧化锆的出现而逐渐减少。人造钛酸锶属等轴晶系（从结构上属钙钛矿族），六八面体对称类型。

1951年美国Merker等人首先采用焰熔法生长了钛酸锶晶体，但由于这种晶体的易裂性，长期以来未能生长出大块完整的光学晶体。

钛酸锶晶体生长原料的制备：首先合成草酸锶和草酸钛的复盐，然后将复盐再高温焙烧而得$SrTiO_3$粉料。

为了使晶体能在还原环境下生长，需使用过量H_2。在成核时$H_2:O_2=7:1$，生长时$H_2:O_2=5:1$，生长出的晶体由于缺氧而乌黑发亮，再经1600℃高温氧化处理，即变为无色透明晶体。

人造钛酸锶在$SrO-TiO_2$二元相图上，SrO、TiO_2两者比例为1：1，实践发现Sr比Ti易于挥发，因此在生长原料中多加一点Sr，使其最终晶体达到$SrO:TiO_2=1:1$的配比。

2. 合成尖晶石的焰熔法生长

合成尖晶石$MgO:Al_2O_3$的配比变化很大，可在1：1～2：7范围内变化。

生长合成尖晶石原料是$MgCO_3$和硫酸铝铵，将其按比例混合焙烧形成Al_2O_3-MgO混合物，再加入相应致色剂。无色合成尖晶石折射率1.728，相当稳定，可作为校正折射仪的标准块。合成尖晶石在950～1050℃温度条件下进行热处理可以消除热应力并提高硬度。

合成尖晶石除红色外，其他颜色均较容易生长，其中蓝色（Co致色）和浅蓝色常见。红色合成尖晶石须严格按1：1配比才行，任何偏离都会变成其他颜色，因此生长有一定难度。合成尖晶石的掺质与颜色见表4-1-3所示。

表4-1-3 合成尖晶石颜色与掺质

掺　质	颜　色	掺　质	颜　色
Cr	红、棕、绿	Mn+Co、Mn+Cr（以Mn为主）	浅　绿
Cu	粉　红	Co+Mn（以Co为主）	紫
Mn	黄	Fe	浅　蓝
Co	深　蓝	Co+Cr	浅　蓝

合成尖晶石常用来仿海蓝宝石、橄榄石和电气石，但由于其性能与所仿宝石相差很远而易于鉴定。

3. 合成金红石的焰熔法生长

合成金红石曾因作为钻石代用品而名扬一时。

合成金红石属四方晶系，熔点1840℃，密度4.26g/cm^3，摩氏硬度6～7，折射率2.616～2.903，色散0.33，作为钻石代用品“火彩”（色散）过强。

合成金红石所用原料是H_2SO_4、$TiCl_4$、$(NH_4)_2SO_4$合成复盐，比例是$(NH_4)_2SO_4 : H_2SO_4 : TiCl_4=2 : 1.6 : 1$，将复盐焙烧分解得$TiO_2$，由于$TiO_2$在生长时容易脱氧，所以生长时将$TiO_2$混以$O_2$送入使炉内保持氧化条件，使$O_2 : H_2=1.5 : 1$。即使如此仍不能保证$TiO_2$在熔点时不损失氧，所以生长的晶体要在1000℃左右的氧化条件下退火，使晶体变成淡黄色透明晶体。

在20世纪50年代，美国National Lead公司和Union Carbide and Carbon公司曾生产这种晶体作为钻石代用品出售，曾经达到年产150kg。但在合成立方氧化锆（CZ）出现后，合成金红石已鲜在珠宝市场出现。TiO_2加入掺质也可以生长彩色晶体，但较少使用。

六、焰熔法合成宝石的鉴定特征

1）焰熔法生长的宝石中可见气相包体，这些气泡大小不一，或单个或成群出现，气泡形状多为球形，也有拉长及齿形的变异气泡，有时小气泡大量密集出现会形成云雾状包体。

2）焰熔法生长的晶体横截面上可见到像唱片一样的密集弧形生长环带或色带，常伴有与条纹方向垂直的拉长气泡。

3）晶体生长过程中未熔融的粉料有时会被包裹在晶体中，形成面包碎屑状包体。

4）焰熔法生长的梨晶很容易从中间裂开，并易产生位错而使晶体出现镶嵌结构、晶向扭曲等严重缺陷。

5）焰熔法生长的宝石晶体个体较大，颜色均匀而鲜艳。

第二节　冷坩埚法生长合成立方氧化锆晶体

自从1905年化学家Verneuil用焰熔法合成红宝石以后，打破了天然宝石一统天下的局面。在各种合成宝石中，产量最大、销量最多的是合成立方氧化锆（CZ）。1976年投入宝石市场以来，它迅速取代了其他钻石仿制品——YAG、GGG、$SrTiO_3$等，而一跃成了风行世界的一种人工宝石。

关于用冷坩埚法来生长ZrO_2晶体，可以追溯到1969年，当时法国的科学家Roulin等人，用高频电源加热冷坩埚的方法进行晶体生长。尽管设备简单，却长出了含稳定剂Y_2O_3为12.5%的立方氧化锆小晶体，但未将该项研究进行下去。1972年原苏联的列别捷夫物理

研究所V.I.Alekasadrov领导的研究小组，把Roulin的技术完善后，长出了较大的晶体，并向美国及其他国家申请了专利。1976～1979年先后获得英国、德国和美国专利。1976年以后，原苏联逐渐把这种晶体替代天然钻石而销往宝石市场。这期间美国的Ceres公司也进行了研究，改进了冷坩埚系统并申请专利权，大量生产宝石用合成立方氧化锆晶体。我国从1982年开始研究，很快获得成功并投入批量生产，是目前世界上能大量供应CZ晶体的国家之一。

CZ晶体极易生长成各种颜色的晶体，色彩艳丽。CZ晶体除作为宝石应用外，还是一种优良的光学材料和激光基质材料。

一、高频冷坩埚技术的工作原理

1. 基本原理

众所周知，一般高温非金属材料，在室温下是介电材料，电阻率大，介电损耗较小，很难用高频电磁场直接加热来熔制。但实验表明，这些材料的熔体导电性能良好，这就为高频加热技术提供了条件。

高频冷坩埚技术不使用专门的坩埚，而是直接用拟生长的晶体材料本身作“坩埚”，使其内部熔化，外壳不熔；其巧妙之处是在其外部加设冷却装置，把表层的热量吸走，使表层不熔，形成一层未熔壳，起到坩埚的作用，这就是“冷坩埚”。内部已熔化的晶体材料，依靠坩埚下降法晶体生长原理使其结晶并长大。

2. 熔制过程

熔化高温非金属材料，必须用一种方法先形成一个小的熔区，用做导电的“种子”熔体。聚光加热等方法均能达到此要求，但设备复杂。最简单的办法是在材料的中心放少量相应的金属片或粉末，接通高频电源，利用金属感应加热和迅速氧化放热使一小部分原料先熔化（见图4-1-2）。

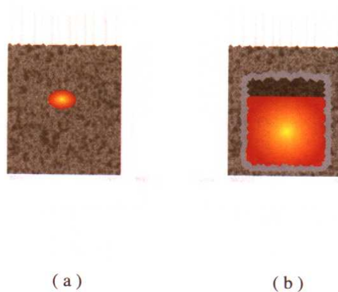


图4-1-2 起熔过程示意图

在局部起熔区，吸收功率与氧化放热之和要大于（至少要等于）由熔区向外散出的热量与熔化材料所需吸热之和，这样熔区才能扩大。实践表明，这段时间是很短的，金属很快氧化完毕，形成一个空心球状熔区（如图4-1-2(a)）。熔区大小与输入功率有关，输入功率增加（初期主要依靠提高电压Va），则熔区扩大，直到平衡为止（如图4-1-2(b)），对于不同的材料，导热系数越大，所需输入功率也越大。

二、高频冷坩埚技术设备

高频冷坩埚技术成套设备由三大部分组成，即高频振荡装置、冷坩埚系统、晶体生长用引下装置（见图4-1-3）。

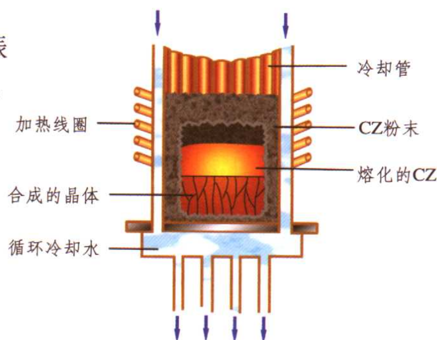


图4-1-3 冷坩埚法晶体生长装置示意图

1. 高频电源

根据熔化非金属材料的原理和工艺要求（以ZrO_2为例），高频电源应具备以下特点：

1）工作频率1～6MHz振荡稳定，可以调节。

2）工作匹配良好，适应从轻载（额定值10%）到重负载（110%）的变化要求，在过压下运行不会使元件损坏击穿。

3）功率可以调节，即阳极电压可从30%～130%（额定值）均匀调节，最好有可靠的稳压功能。

4）能长时间连续运行。

由于要求的特殊性，没有现成的高频电源可选用。高频冷坩埚技术采用的设备是专门设计的。该电源具有以下特征：振荡槽路采用频率比较稳定的电容三点式振荡器，这种线路的优点是在较高的频率下频率稳定、波形好、不易受寄生电路的影响、结构简单，但是起振较困难。

2. 冷坩埚系统

冷坩埚系统是生长晶体的关键设备之一，它必须既能供高频电场通过，又能支持内部温度高达3000℃以上的熔体而不被熔化。其组成是：

1）水冷铜管使用单管而不使用套管，弯成双“U”形，之间间隙为1～1.5mm，保证高频电磁场能量能顺利透入，由于内部水流畅通，所以容易形成“冷壳”，以支撑熔体。

2）水冷底座由三部分组成，中间绝缘，有效地切断高频感应电流，以提高效率。底座分上下两个腔，上腔供水，下腔出水，上下腔分别与上部铜管的两端焊牢。

3）下面是用玻璃钢做成的绝缘支架，以与引下机构金属部分绝缘。

3. 引下装置及调速系统

引下机构采用丝杆式蜗轮杆传动机构，用直流力矩发电机、电动机组拖动，电机速度快慢可调，调速精度较高，以保证晶体生长的稳定性。直流力矩机组用专门设计的脉冲调宽式控制仪供电，具有速度反馈和电压反馈两个闭环调节，保证了恒速要求。

三、合成立方氧化锆晶体的生长

1. 原料制备

生产立方氧化锆用的主要原料是ZrO_2粉末，对原材料中TiO_2、Fe_2O_3含量要求较高，一般其质量分数小于0.03%，以确保生长出的晶体不带黄色，透明度好。稳定剂采用纯度较高的Y_2O_3，色白而细。

为了生长有色晶体，需要掺入一定量的杂质元素，常用的是稀土元素氧化物和过渡族元素氧化物，见表4-1-4。将ZrO_2、Y_2O_3按9∶1mol比例配料，加入相应杂质元素，混合均匀备用。

表4-1-4 CZ晶体中常用掺质和颜色

掺质元素	加入量w_B/%	颜色
Nd_2O_2	2	浅紫
Nd_2O_3+Co_2O_3	1+0.1	深蓝紫
Co_2O_2	2	深紫
Co_2O_3+CeO_2	0.1+0.05	紫红
CeO_2	0.1～0.3	橙—红—深红
Pr_7O_{11}	0.1～0.3	浅黄—深黄
Er_2O_2	3	粉红
TiO_2	0.1	茶色
Ho_2O_3	1	绿
V_2O_5	0.1	橄榄绿
CaO		浅绿
Cr_2O_3	0.03	褐绿

2. 晶体生长过程

将混合好的原料装入冷坩埚中，上部放少量金属锆片，接通电源并升压，将原料熔化。当原料熔化后，使熔体稳定一段时间，使电压、电流、栅流基本稳定后，使坩埚慢慢地下降，这时，由于下部冷却，在底部就会自发成核。随着坩埚的下降，一部分有生长优势的晶核迅速长大而排挤其他小晶体长成晶排。一般情况下直径$d=250$mm的坩埚典型运行参数为：电压9～10kV，电流7～10A，栅流1～1.5A，坩埚下降速度3～15mm/h。当生长结束后，慢慢地降低功率，使晶体退火一段时间，关闭电源，自然冷却到室温，取出晶块。轻击即可打开分离出完整的晶体块。

四、冷坩埚技术的其他应用和最新发展

冷坩埚技术自从1976年投入工业应用以来，有了很大发展。

在高频冷坩埚设备方面，继俄罗斯之后，美国、中国等国家相继研制成功并扩大容量，投入商业生产，年生产ZrO_2晶体数以百吨计。冷坩埚直径已扩大到400mm以上，装料量由原来的几千克扩大到一二百千克，每次能生产ZrO_2晶体近100kg。设备稳定性大大提高，实现了自动控制。

CZ晶体研究也有了重大进展，现在几乎可以生产出各种颜色的晶体，特别是近期投入市场的蓝色和绿色的晶体，可以仿制出蓝宝石的蓝色和祖母绿的绿色。

第三节　提拉法和导模法生长宝石晶体

“晶体提拉法”是利用种晶从熔体中提拉生长出晶体的方法。该方法能在短期内生长出大而无位错的高质量单晶，是由J.丘克拉斯基（J.Czochralski）在1917年首先发明的，所以又称丘克拉斯基法。大多数氧化物类晶体如红宝石、蓝宝石、人造钇铝榴石（YAG）、人造钆镓榴石（GGG）、金绿宝石、尖晶石等，都能用晶体提拉法生长合成晶体。

一、晶体提拉法的原理与装置

（一）晶体提拉法的原理

晶体提拉技术的原理可以用图4-1-4来说明。生长设备包括：坩埚、熔体（原料）、晶种与晶体提拉机构、加热器及功率控制、温度控制系统、炉体及氧气控制系统、后加热器等，将待生长的原料放在合适的坩埚内熔化，装上定向的晶种，降下籽晶杆，接种、放肩，然后等待生长出达到要求的晶体。

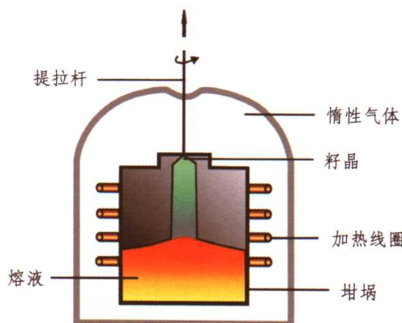


图4-1-4 晶体提拉法装置示意图

这种方法的主要特点是：

1）晶体生长过程直观，便于观察。

2）短时间内可长出高质量的大晶体。

3）可以定向等径生长，但是受坩埚材料污染、熔体对流及饱和蒸气压低、熔体挥发等的影响，给生长晶体带来困难。

（二）晶体提拉法的主要装置

1. 坩埚

坩埚是放熔体的器皿，应具有耐高温、抗熔体腐蚀、加工容易、不污染晶体等特点，不同宝石晶体使用不同的坩埚，常用的坩埚及生长的宝石材料见表4-1-5。

表4-1-5 常用于生长人工宝石的坩埚材料

生长的宝石材料	坩 埚	最高温度/℃
合成刚玉	钼	2400
YAG	铱	1900
GGG	铱	1900
合成尖晶石	钼	2400
合成金绿宝石	铱	1900

铂、铱、钼等金属材料，延展性好，容易制造成各种形状，可重复使用，是首选材料。石墨加工容易，耐高温，可用于不与其发生氧化反应的材料的生长，但石墨较易氧化或脱落（即使在还原条件下），容易造成污染。

2.加热器及功率控制

晶体生长的关键是必须保持稳定的温场，功率也必须严格控制，射频加热、电阻加热是最常用的方法。射频加热的电源有中频和高频两种，由于坩埚导电较好，为了克服“集肤效应”而均匀加热，现在大都采用中频加热，特别是用在YAG、合成金绿宝石的生长时更是如此。感应加热的感应器应合理设计，以保持稳定合理的温场。电阻加热也是常用的方法，在宝石晶体生长中常用的加热器材料有石墨和钨两种。石墨耐高温，易加工，寿命长，但有污染；钨耐热温度高、不污染，但加工困难。

加热器功率的自动控制十分重要，只有保证熔体的温度稳定，才能培育出好的晶体，一般要求稳定在±0.2℃。

3. 保护环境

一般晶体生长炉都有水冷的不锈钢外壳，内部可以加保温材料，还可以用保护气体，如氯、氦、氮、氢等改变炉内的气氛。所用流量和气体分压也都视材料而定，如在生长合成蓝宝石时，使用微量O_2〔$w(O_2)=0.5\%$〕的$Ar-O_2$或N_2-O_2混合气体，防止Al_2O_3脱氧。石墨加热时则使用Ar做保护气体。YAG、合成金绿宝石多用纯Ar来做保护气体。充气之前应先抽成真空，因此炉子还必须有真空系统。

4. 提拉、转动机构及其控制

晶体提拉机构是一组精密的机械装置，不但要求机械加工精度高，而且机电拖动系统也要自动控制，还要与坩埚、晶体的电子称重系统形成自动调节，因此，这部分是现代提拉炉的最重要部分之一。

拉速和转速影响着固液界面的形状，界面状态是晶体生长的关键因素。晶体应在平界面生长，弯曲界面会引起径向杂质不均匀，合成宝石晶体内外颜色不一致。如晶体凸入熔体，容易形成小面，特别是GGG和合成红宝石的生长中有这种情况。转速除改变界面形状外，还引起熔体对流，因此必须设计合理的转速。

提拉速度主要决定于：待生长的晶体直径、炉体的温度、晶体质量要求、组分过冷等。

提拉速度和转速一般由试验决定（见表4-1-6）。

表 4-1-6 材料与转速、拉速之间的关系

材　料	转　速 / $r \cdot min^{-1}$	拉　速 / $mm \cdot h^{-1}$
合成金绿宝石	25～40	2.5
GGG	30	6
合成蓝宝石	20～40	6～8

5. 后加热器

由晶体提拉法生长的晶体，在离开熔融的液面后，不能直接进入室温的空间，否则会因为温度急剧变化而产生内应力使晶体破裂。所以，应在设备上考虑保温装置，使晶体逐渐冷却，这个装置就是后加热器（简称后热器）。后加热器的主要作用是调节晶体和熔体之间的温度梯度，以得到合适的纵向温度梯度，防止晶体开裂。

后热器可分为自热式和隔热式两种。自热式为圆柱状或伞状；隔热式后热器可用高熔点氧化物如氧化锆、氧化铝、合成刚玉陶瓷等制成，也可以由多层钼片、铂片反射器组成，所以隔热式后热器也叫保温盖。

通常后热器放在坩埚的上部，生长的晶体逐渐进入后热器，生长完毕后就在后热器中冷却至室温。

二、晶体提拉法生长宝石晶体实例

1. α-Al_2O_3（包括合成蓝宝石和红宝石，现以合成蓝宝石为例）晶体生长

原料：焰熔法白色合成蓝宝石碎块+TiO_2+Fe_2O_3，TiO_2、Fe_2O_3的配比视颜色而定。也可以用α-Al_2O_3（已掺杂）的烧结块。

坩埚：钼。

加热器：石墨。

温场设计：符合界面设计要求。

设备：真空充 Ar 晶体提拉炉。

工艺参数：温度 2050℃以上，转速 10～15r/min，拉速 1～10mm/h 可调。

将原料放入坩埚，加热到 2060℃，熔化原料，已装好籽晶（定向）的提拉杆下降使籽晶接触熔体，控制温度略高于熔点，接种后，慢慢提拉、转动，小心降低功率，使晶体变粗。经过调节功率，实现接种—缩颈—放肩—等径生长—收尾的全部生长过程。在生长过程中观察生长情况，用红外传感器测量固－液界面的亮光环温度作为测温等径生长的采样，实现自动调节生长。

2. GGG 晶体生长

人造钆镓榴石 GGG 是一种人造宝石，它与人造钇铝榴石（YAG）、人造钇铁榴石（YIG）等构成一系列具有石榴石结构的晶体。由于 GGG 可以掺入 Cr、Nd 等稀土和过渡族元素，因此颜色品种多而且色泽艳丽。研究这种晶体主要出于工业目的，它是很好的磁泡材料和激光基质材料，副产品可用于宝石，特别是绿色和蓝色的晶体。

GGG 的分子式为$Gd_3Ga_5O_{12}$，是等轴晶系，晶胞常数 123.8nm。其生长工艺已经成熟，与 YAG 一样，掺入Cr^{3+}成绿色，掺入Nd^{3+}成紫色，掺入Er^{3+}为粉红色等。

典型工艺　中频感应加热，铱坩埚 80mm(d) × 80mm(h)，充 N_2+O_2〔$w(O_2)$%〕，拉速 6mm/h，转速 30r/min，晶种定向，[111]方向生长，长成晶体长 20～25mm，宽 60mm。

主要缺点　原料价格太贵，影响了它的推广应用。

3. YAG 的提拉法生长

人造钇铝榴石（YAG），成分为 $Y_3A_{15}O_{12}$，立方结构。作为激光器的晶体掺入 Nd，显紫色；掺 Co^{3+} 变蓝；掺入 Ti^{3+} 变绿（有 Fe）；掺入 Mn^{3+} 变绿（有 Fe）；掺入 Mn^{3+} 变红；掺入 Ti^{3+} 变黄。YAG 颜色丰富，特别是绿色 YAG 可作为祖母绿代用品。

YAG 的生长基本与 GGG 相同，配料为 $3Y_2O_3 \cdot 5Al_2O_3$。目前已研制了专门的中频加热的提拉炉，炉子带坩埚称重、晶体称重和等径生长控制，气氛是 N_2+Ar 充气，铱坩埚，生长出大晶体已无困难，重要的是在宝石晶体生长时调正颜色色调，使其接近所替代的天然宝石颜色。

4. 合成金绿宝石的提拉法生长

合成金绿宝石成分为 $BeAl_2O_4$，掺入 Cr^{3+}、V^{3+} 离子晶体可产生变色效应，目前已有合成变石投放市场。

因 BeO 有毒，原料制备在封闭的环境进行，$Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$、$BeSO_4 \cdot 4H_2O$ 及掺杂元素 $NH_4Cr_2O_7 + NH_4VO_3$，按要求称重混合放入蒸发器，加热 8h 慢慢升温至 1000～1100℃，继而保温4h，使其完全分解为氧化物。将反应产品研碎并压块，在1300℃下灼烧10h，作为生长晶体的原料。也可以用α-Al_2O_3和BeO的粉末按1∶1混合，加入掺杂剂Cr_2O_3和V_2O_5，混合压片，并在 1200～1300℃温度条件下进行灼烧形成 $BeAl_2O_4$ 多晶料。

典型工艺是：射频加热，60mm(d) × 80mm(h)铱坩埚，抽真空后充102kPa的 Ar，加热到1870℃将原料熔化，再升温到1900℃，保温 1h，然后降温 30～50℃，接种籽晶（001），经放肩、提拉、等径、收尾等过程而长出晶体。转速 25～40r/mim，拉速 2.5mm/h，固－液界面温度梯度小于 10℃/mm，这样可以生长出直径 20～25mm 的晶体。

三、导模法生长宝石晶体

导模法全名应为边缘限定薄膜供料提拉生长技术（简称 EPG 法），它是熔体提拉法的一个变种，特别适用于片状、管状和异型截面的晶体生长，这种方法可以生长合成蓝宝石、合成红宝石、YAG、合成金绿宝石等。

导模法的原理如图4-1-5所示，它与其他提拉法不同的是，在熔体中放入一个导模，上部边缘就是将要生长的晶体的截面形状，导模与熔体以毛细管或狭缝相通，熔体因毛细现象而沿毛细管上升，在顶部可用种晶引晶，在晶体与模之间有一液态的薄膜，液体在晶体和模顶面之间扩散到边缘，所以固化后就和模子的边缘形状一样。

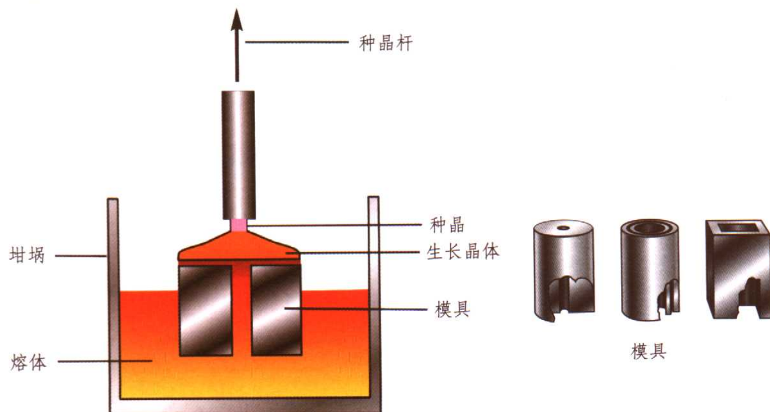


图 4-1-5 导模法提拉晶体

晶体生长的关键是导模设计和炉内温场的设计。导模设计要考虑熔体与模具材料是否浸润；温场设计要保证模口的温度合适。

由于手表工业的发展，合成蓝宝石表蒙大量使用白色合成蓝宝石，加之工业上用它作SOS基片，因此，板状晶体生长需求量剧增。目前已实现多片同时生长，高速提拉，并可生长出宽近100mm，长达1000mm，同时7～10片的合成蓝宝石晶体。表4-1-7是用导模法生长的一些宝石晶体的工艺条件。

表4-1-7 导模法生长宝石晶体部分工艺条件

材　料	形　状	坩　埚	生长方向	Δ t/℃
白色合成蓝宝石	片、管、棒、丝	钼	(0001)	20～50
合成红宝石	异型、棒	钼	(0001)	20～50
YAG	棒	铱	(111)	
GGG	片	铱	(110)	50
合成金绿宝石	片、棒	铱	(001)	5～7
合成尖晶石	片	依	(110)	

四、提拉法和导模法生长宝石晶体的鉴别

（一）提拉法生长宝石晶体的鉴别

1. 成分分析

用X射线荧光分析或电子探针方法可检测出提拉法生长的宝石晶体中存在有钼、钨、铱、铂等金属元素。

2. 放大检查

用放大镜或显微镜观察，晶体内部有云朵状气泡群及条帚状包体，或者可见拉长的气态包体和很细的、弯曲成圆弧状的不均匀生长条纹。

利用超标准暗域或倾斜光纤照明技术观察，提拉法生长的宝石晶体偶尔可见一些细微的、类似于烟雾般的微白色云状物质。

（二）导模法生长宝石晶体的鉴别

1. 包体

导模法生长的晶体，通常不存在未熔化的粉料包体，但可能存在导模金属的固体包体和气态包体。晶体内部可发现直径0.25～0.5μm大小的气泡，且气泡分布不均匀。

2. 存在籽晶及其缺陷

因为熔体导模法与提拉法一样使用了籽晶，所以生长出的晶体必然有籽晶的痕迹，并且籽晶的缺陷也可进入导模法生长的晶体中。

第四节　助熔剂法生长宝石晶体

助熔剂法又称高温熔体溶液法，它是将晶体的原成分在高温下溶解于低熔点助熔剂熔体中，形成饱和的溶液，然后通过缓慢地降温或在恒定温度下蒸发熔剂等方式，形成过饱和的溶液而析出晶体。这种过程类似于自然界中矿物晶体从岩浆中结晶的过程，因此在宝石晶体

合成中占有重要的地位。

利用助熔剂法生长晶体已有很久的历史，19世纪中期，西欧就曾有人用此法合成金红石和合成祖母绿，由于焰熔法合成红宝石的兴起，该法曾一度被人忽视，但近几十年来，由于科技的发展又开始在宝石生长中大量应用。助熔剂法不仅可以合成红宝石，还可合成祖母绿和尖晶石等。

助熔剂法生长宝石晶体有许多优点，与其他方法相比，它适用性很强，几乎对所有的宝石材料都能找到合适的助熔剂。助熔剂法要求温度低，许多难熔化合物、在熔点处易挥发或变价的化合物，或非同成分熔化的化合物，都能从熔体溶液中生长出来。另外，由于它与矿物在岩浆中结晶类似，合成宝石晶体的包体很像天然宝石包体，所以颇受宝石合成者的重视。助熔剂法由于温度要求相对较低，所以设备也相对简单，从发热体到测量温度的元件都容易配置。这种方法的缺点是生长周期长，且有些助熔剂有腐蚀性和毒性，容易污染环境。

一、助熔剂法生长晶体的原理

助熔剂法，顾名思义，一定有助熔剂。作为助熔剂，一个基本的要求就是它熔化后能溶解待生长的晶体，且不易分解挥发。PbF_2、PbO_2、Bi_2O_3等极性化合物是最好的材料，它们熔点低，溶解能力强，此外B_2O_3和$BaO-Bi_2O_3$也很常用。还有一些复杂的化合物如钨酸盐、钼酸盐、冰晶石等有时也被选做助熔剂。

助熔剂的选择要依据几个原则：

1）它对拟生长的晶体有极好的溶解性，随温度的变化，溶解度变化也较大，这样晶体容易生长。

2）在较宽的温度范围内，所生长的晶体是惟一的稳定相，也就是助熔剂与晶体成分不能形成中间化合物。

3）助熔剂具有较低的黏度和较高的沸点。

4）挥发性小，毒性小，容易清除。

常用的助熔剂及其性质见表4-1-8。

表4-1-8 常用助熔剂及其性质

助熔剂	熔点/℃	沸点/℃	ρ/g·cm^{-3}	溶剂	生长晶体
B_2O_3	450	1250	1.8	热水	$Li_{0.5}Fe_{2.5}O_4$、$FeBO_3$
$BaO-B_2O_3$	915		约4.6	盐、硝酸	YAG、YIG
$BaO-BaF_2-B_2O_3$	约800		约4.7	盐、硝酸	YIG、$RFeO_3$
Bi_2O_3	817	1890(分解)	8.5	硝酸、碱	Fe_2O_3、$Bi_2Fe_4O_9$
KF	856	1502	2.5	水	$BaTiO_3$、CeO_2
NaB_4O_7	724	1575	2.4	水、酸	TiO_2、Fe_2O_3
PbF_2	822	1290	8.2	硝酸	Al_2O_3、$MgA1_2O_4$
$PbO-0.2B_2O_3$	500		约5.6	硝酸	YAG、YIG
$PbO-0.85PbF_2$	约500		约9	硝酸	YAG、YIG

助熔剂法生长宝石晶体的基本原理可用二元组分的共晶型相图来说明，如图4-1-6所示。假设宝石组分A的熔点为T_A，助熔剂作为低熔点组分B的熔点为T_B。将A组分和B组分进行

混合，混合比为X。受热熔化后，A、B组分均熔融成熔液。此时，作为混合组分X的熔点处于P。当温度下降时，A组分在Q点，相当于T_Q的温度时结晶析出。再降低温度，熔融液的成分比沿T_AQE变化，最后达到E点的组分，E点称为低共熔点。在这个过程中，A组分不断析出或生长成晶体。从图中还可看出，B组分的加入，使T_Q点的A组分结晶温度明显地低于T_A，即A组分中加入低熔点的B组分后，A组分的熔点和结晶点由T_A下降到T_Q，这样，就可以在较低温度下生长出高熔点的宝石晶体。由于B组分起到了降低熔点的作用，所以称为助熔剂。又因为B组分通常为无机盐类，因此助熔剂法也被称为盐熔法或熔剂法。

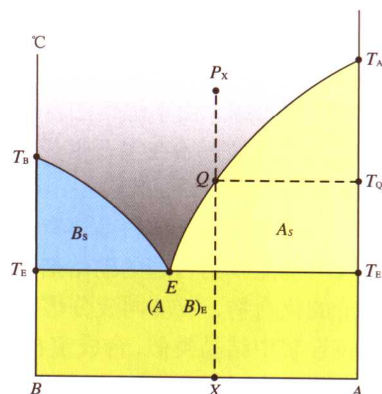


图 4-1-6　二元组分的共晶型相图

从相图中还可以看出，相图下部为固相A和B的脱溶区，这种脱溶体脱溶现象在宝石晶体中很常见，在红、蓝宝石的改色过程中有TiO_2、Fe_2O_3、Cr_2O_3等脱溶，合成立方氧化锆晶体中的立方相中有四方脱溶，在退火时各自成为单独的晶体。

二、助熔剂法生长合成红宝石晶体

焰熔法合成红宝石产量大，结晶好，颜色全，但是与天然红宝石相比，极易鉴别。为了生长出接近于天然红宝石的合成红宝石，人们把精力集中到助熔剂法上。由于助熔剂法合成红宝石的包体、生长习性与在岩浆中形成的天然红宝石有相似的结晶条件，所以合成红宝石几乎达到以假乱真的地步，这也是助熔剂法合成红宝石长久不衰的原因。

助熔剂法合成红宝石过程中常见的问题是：

1）成核的控制问题，特别是在缓冷法中，有时成核失控，晶体长不大。

2）不希望的生长习性，由于红宝石（0001）面生长慢，所以长成（0001）薄片，导致使用率低且结晶不完整。

3）内部含助熔剂包体过多，破坏了结晶完整性。

下面以Na_3AlF_6做助熔剂为例说明合成红宝石的生长工艺。

（一）合成红宝石晶体生长工艺

上面已经讲过，助熔剂法生长原理可据二元相图来说明，根据Na_3AlF_6-Al_2O_3的二元相图可以确定配比，Na_3AlF_6和Al_2O_3配比可选择在Al_2O_3质量分数为13%～20%范围内。生长温度980～1050℃之间。

将Na_3AlF_6和Al_2O_3（用AP级）混合，加Cr_2O_3〔$w(Cr_2O_3)$ =1%～3%〕，混合、压块并均匀熔化，生长炉如图4-1-7所示，其发热元件为高温电炉丝，温场可以用炉丝的分布来调整，也可以用改变坩埚上下位置来调整，温场T_Q=980～1050℃左右，T_1-T_2=20℃左右。

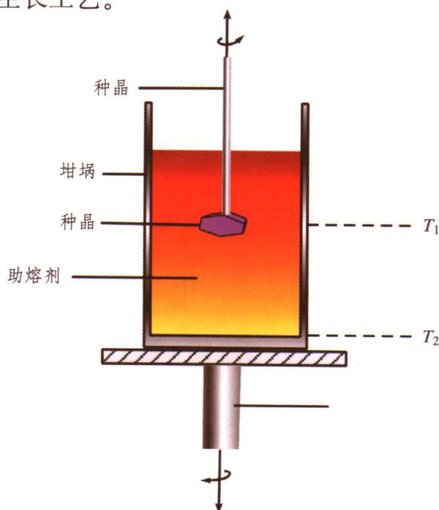


图 4-1-7　助熔剂法合成红宝石生长炉

坩埚 85mm (d) × 85mm (h)，装料重 1000g，熔化后用籽晶下试法来测试溶液的饱和温度，在高于饱和温度20℃左右保持4～5h，确保熔质被充分熔化，然后

慢慢下降籽晶，并且以0.5～1℃/h的速度降低温度，种晶以10～30r/min的速度转动，使晶体慢慢长大，生长出的晶体与天然红宝石有近似的外形和结晶特性。

（二）熔体挥发对晶体生长的影响

由于晶体生长是在开放系统下进行的，熔剂Na_3AlF_6在熔融状态下，每次生长中有6%的熔剂挥发。熔体中大量的F、Na离子及它们的化合物相当活泼，很容易从表面溢出，导致熔体挥发过快；另外由于表面挥发造成熔液表面具有更大的饱和度，表面成核几率大，使长出来的晶体质量不好，所以用种晶生长时，将种晶放在液面下一点，以使晶体发育完整，同时还要增加助熔剂比例，以补充挥发造成的损失。

（三）助熔剂法合成红宝石的主要品种和鉴别特征

目前国际珠宝市场上出现的助熔剂合成红宝石主要有查塔姆（Chatham）、拉姆拉（Ramaura）、克尼什卡（Knischka）、卡桑（Kasha）、多罗斯（Douros）合成红宝石几个品种。

1. 查塔姆（Chatham）合成红宝石

Chatham合成红宝石于1960年面市，是最早的助熔剂法合成红宝石，其特点如下。

1）晶体特点　Chatham合成红宝石是一种含天然籽晶的合成红宝石，早期生长的单晶体以有大块天然种晶为特点。

2）荧光　紫外灯下有强红色荧光及白垩状红色荧光。

3）内部特征：① 可见助熔剂包体，Chatham合成红宝石中常可见粗大的助熔剂残余，它们常呈撕裂状、精细的网状、羽裂状；② 铂金属片，目前大多数助熔剂合成红宝石内部已见不到铂金属片，而Chatham合成红宝石中却仍可见铂金属片，这些铂金属片与助熔剂残余共生，形成一些类似天然的景观，构成了Chatham合成红宝石的鉴定依据，铂金属片呈六边形、三角形，其边缘为锯齿状；③ 种晶，在显微镜下观察，常可看到Chatham合成红宝石中蓝色幻影般的种晶，其边缘可见到一些淡蓝—红紫色的边界线；④ 透明晶体，Chatham合成红宝石中偶尔可见到一种颗粒状无色透明晶体，经分析证实（Kerre，1982），这类晶体为金绿宝石。

2. 克尼什卡（Knischka）合成红宝石

Knischka合成红宝石是由澳大利亚一位工程师生产的具有天然籽晶的助熔剂法合成红宝石，其特点如下。

1）晶体特点　Knischka合成红宝石表现出一种纺锤状的晶体形态（见图4-1-8），在晶体中除了底轴面c {0001}、菱面体面r {$10\bar{1}1$}，d {$01\bar{1}2$}，还有六方双锥n {$22\bar{4}3$}面的出现。

2）荧光　Knischka合成红宝石在长波紫外灯下表现一种强红色荧光，短波紫外荧光特点与长波相同。

3）吸收光谱　紫外－可见光吸收谱的400～700nm范围内Knischka合成红宝石存在明显的468.5nm、475nm、476.5nm铁吸收峰和659.2nm、668nm、692.8nm、

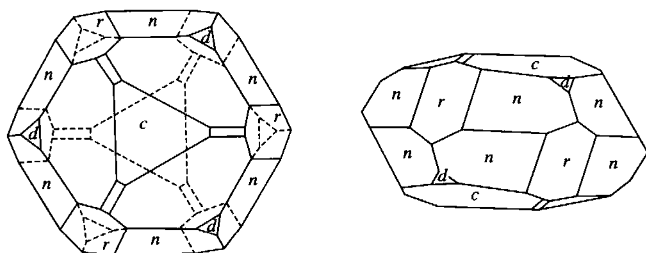


图4-1-8 克尼什卡合成红宝石晶体

c= {0001}，r= {$10\bar{1}1$}，d={$01\bar{1}2$}，n= {$22\bar{4}3$}

694.2nm的吸收峰，这一特征与天然红宝石吸收相同，而在250～400nm之间出现的270nm的吸收峰却是天然红宝石所缺失的，这一吸收峰的存在可作为Knischka合成红宝石与天然红宝石的鉴别依据（见图4-1-9）。

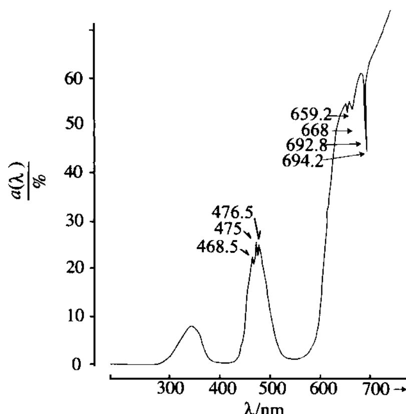


图4-1-9 克尼什卡合成红宝石紫外－可见光吸收光谱

4）内部特征：① 助熔剂包体，Knischka合成红宝石中残余的助熔剂常形成一些奇异的云翳状、面纱状的形态，还可有不规则的管状，管内有明显的收缩泡和高折射率的固化助熔剂玻璃；② 负晶，Knischka合成红宝石的另一个特点是存在着大量的体积粗大、形态各异的负晶，这些负晶分散或成群聚集，成群出现的双锥状负晶分布于长晶管的末端，被看成是Knischka合成红宝石的鉴定依据；③ 铂金薄片，与其他助熔剂合成红宝石相比，Knischka合成红宝石的铂金薄片多呈扭曲的六边形、三角形状；④ 种晶，Knischka合成红宝石籽晶采自印度等地的天然红宝石，因此在显微镜下观察时可以发现天然包体和助熔剂包体共存的现象；⑤ 化学成分，其微量元素主要为Cr、Fe，并有少量的Ti和Cu。

3. 拉姆拉（Ramaura）合成红宝石

Ramaura合成红宝石是1983年面市的自核成晶的合成红宝石，其特点如下。

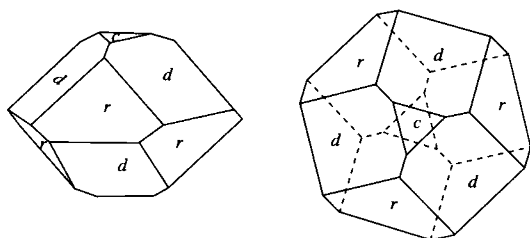


图4-1-10 拉姆拉合成红宝石晶体

$c=\{0001\}$，$r=\{10\bar{1}1\}$；$d=\{01\bar{1}2\}$

1）晶体特点　Ramaura合成红宝石常出现一种等向的菱面体状晶体，其上发育三种晶面，即底轴面$c\{0001\}$、菱面体面$r\{10\bar{1}1\}$、负菱面体面$d\{01\bar{1}2\}$；底轴面c面相对较小，穿插双晶发育；与Douros合成红宝石不同的是，其穿插双晶常发育于菱面体状晶体中（见图4-1-10）。

2）荧光　Ramaura合成红宝石由于加入了某些稀土元素，在长波紫外灯下有明显的橘红色－红色荧光，短波紫外荧光与长波紫外荧光相同，但荧光强度稍低，少数样品可有蓝白色荧光。

3）内部特征：① 助熔剂包体，Ramaura合成红宝石中助熔剂残余常呈明显的橘黄色、黄色，少数呈无色或白色，残余的助熔剂沿晶体的某些方向分布，形成一些规则的平行排列或六边形网状图案，有些细小的助熔剂集合体呈阶梯状排列，其内部具明显的“龟裂纹”；② 铂金薄片，Ranaura合成红宝石很少含铂金薄片；③ 颜色与色带，Ramaura合成红宝石主要呈现紫红色、玫瑰红色、红色，颜色的不均一性几乎表现在每一粒宝石中，这种不均一性通常表现为纺锤形、三角形图案的色块，在转动宝石时，色块的褐色色调明显增加，这些可与天然缅甸红宝石“蜜糖状”结构相区别；④ 生长线，在油浸显微镜下Ramaura合成红宝石的生长线所构成的丰富的图案，成为该宝石的一个重要的鉴定依据，其生长线大致有两种形式，包括近于平直的平行排列的生长线、略为弯曲的大致平行排列的生长线，几种不同形式的生长线以一定角度相交共生形成不规则的生长现象；⑤ 化学成分，Ramaura合成红宝石的化学成分中除含元素Cr、Fe、Ti外，尚有少量的K和Ca，在能谱分析中有Pb的存在，这是因为其所用助熔剂主要是氧化铅（PbO）、氟化铅（PbF_2）、氧化铋（Bi_2O_3）或氧化镧（La_2O_3）。

4. 多罗斯（Douros）合成红宝石

Douros合成红宝石是1993年面市的一种自发成核无种晶的助熔剂合成红宝石，其主要特点如下。

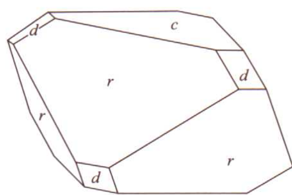


图 4-1-11 菱面体状多罗斯合成红宝石晶体

1）晶体特点　常见的晶形有两种，即近等向发育的菱面体状和板状，在两种形状的晶体上只能见三种晶面，底轴面 c {0001}、正菱面体 r {$10\bar{1}1$}、负菱面体 d {$01\bar{1}2$}，板状晶体内穿插双晶发育。菱面体状晶形如图 4-1-11。

2）荧光　未切磨的Douros合成红宝石可有多种荧光，在其边缘部分由于Cr含量很低，可表现为无荧光或很弱的荧光，某些外层在长波紫外线下呈黄—黄橙色荧光，短波紫外线下呈现中—强蓝白色荧光，而成品宝石则多表现出比天然红宝石强的红色荧光。

3）内部特征：① 助熔剂包体，Douros 合成红宝石内部较纯净，少量残余助熔剂主要呈两种形态，即分散的粗大的圆形、长条形或由细小的助熔剂熔滴聚合成的面纱形，助熔剂多呈现明亮的黄色，随着温度的降低助熔剂收缩中心多留下空洞，边缘则呈现一种“马赛克”状结构；② 颜色和色带，Douros 合成红宝石可有深红、紫红、红紫等颜色，颜色分布不均匀，在板状晶体的边部、双晶结合面处都可出现浅红—无色色带，在菱面体晶形和板状晶体中可见到紫或蓝紫色的锐角三角形色块；③ 生长线，在油浸显微镜下，菱面形晶体的 d 晶面上有明显的弯曲伞状轮廓，构成Douros合成红宝石的一种鉴定依据（见图4-1-12）；④ 化学成分，Douros合成红宝石除含Cr外，还有Ti、Fe、Ni、V等元素，其助熔剂成分为 $Pb(NO_3)_2$，所以在检测中有Pb的出现，Douros 合成红宝石不同晶面的化学成分略有差异，以至其不同晶面上的折射率值也略有变化，成品宝石可测到大于天然红宝石的折射率和双折射率，n_o=1.772～1.774，n_e=1.762～1.764，双折射率为 0.010～0.012。

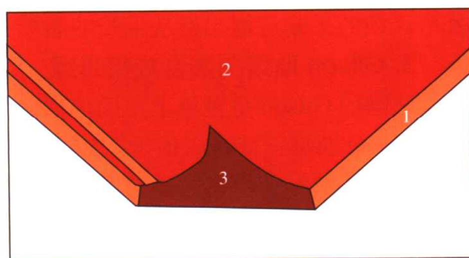


图 4-1-12 多罗斯合成红宝石菱面形晶体的 d 面上伞状生长区示意图（油浸、正交偏光下）
1—晶体边缘橙黄色生长带；2—红色生长区；3—深红色伞状生长区

三、助熔剂法生长祖母绿晶体

关于助熔剂法合成祖母绿的历史可以追述到 1848 年，J. J. Ebelmen 用熔化的 H_2BO_3 作助熔剂，用天然祖母绿粉末为原料，溶解后降温而获得小片状晶体。但是一般都以1888年和1900年 P. Heufefeuille 和 H. Perry 公开报道的助熔剂法生长的祖母绿作为合成祖母绿的开端，这种方法一直为后人采用。所用的助熔剂为 $Li_2Mo_2O_7$（或 LiO_2+MoO_3+X_2O_5），加入祖母绿粉末，在800℃下加热熔融，经14天后长出1mm大的祖母绿晶体（加Fe是浅黄绿色，加Cr为绿色），如超过 800℃则为硅铍石（Be_2SiO_4）。

后来德国的Espig进行了助熔剂法合成祖母绿的研究，但真正把合成祖母绿推向商业化生产的是查塔姆（C. Chatham）和吉尔森（P. Gilson）。

1. Espig 助熔剂法合成祖母绿晶体

Espig 的合成祖母绿如图 4-1-13 所示。

Pt坩埚 180mm(d) × 85mm(h)，装料 2.8kg，用 Pt 管在 Pt 栅上加料 SiO_2。上部 SiO_2 2～4 周加一次，下部原料 2 天补充一次。

原料配方　SiO_2两份，BeO两份，Al_2O_3四份，Li_2CrO_4少量。加料后加热到800℃，原料熔化后，由于底部热，Al_2O_3、BeO、Li_2CrO_4向上扩散，SiO_2向下扩散，在栅下与祖母绿种晶相遇，若此处是过饱和状态，则沉积在晶核上长大，12个月可长出20mm大的晶体。可以放籽晶，也可以自发成核。

Espig生长法属早期的研究成果，生长出的晶体不大且包体多，完整性不好，很难磨出1ct[1]以上的戒面。

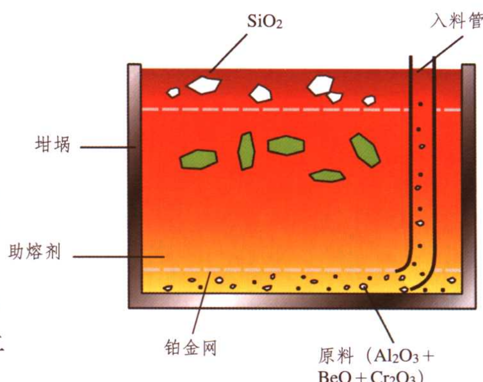


图4-1-13 Espig合成祖母绿的生长原理图

2. Chatham合成祖母绿

Chatham是在助熔剂法合成宝石方面极有成就的科学家，他对合成红宝石和合成祖母绿做出了很大的贡献。Chatham在合成红宝石和合成祖母绿时也是使用$Li_2O+2MoO_2$做助熔剂，使用缓冷法，不过炉子和坩埚都比较大，典型生长周期为12个月。由于生长过程保密，没有公布详细的工艺过程，但从生长的晶簇片来看是缓冷降温法自发成核生长的。

3. Gilson助熔剂法合成祖母绿

法国的Gilson是世界上用助熔剂法合成祖母绿并推向市场的另一个公司。

Gilson助熔剂法合成祖母绿分两步，首先是优化种晶，如图4-1-14所示，先选用无色的绿柱石切片做籽晶，在两面上生长合成祖母绿，再把合成祖母绿切下来做籽晶。

如图4-1-15所示，中间栅网把Pt坩埚分为两个区，热区内放入做原料的绿柱石块，助熔剂为$Li_2Mo_2O_7$，在较热区，绿柱石被熔解到助熔剂中，在冷区绿柱石分子又在过饱和的条件下析出长在种晶上，两区的温差很小，主要是保持低一些的过饱和度，防止硅铍石和自发核的形成。两区流体对流可用机械来驱动。典型生长工艺每月长1mm，14mm × 20mm大的晶体可切割出18ct重的宝石。

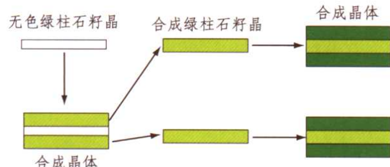


图4-1-14 晶种优化示意图

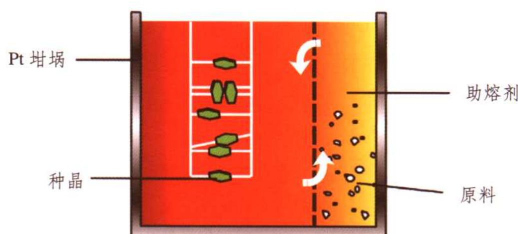


图4-1-15 Gilson法合成祖母绿示意图

助熔剂法还可以用于生长YAG、$SrTiO_4$等晶体，但由于这些晶体近几年来在宝石商业中较少使用，故不再介绍，其原理与合成红宝石类似。

四、助熔剂法合成宝石的鉴别

1. 包体特征

1）固态包体　助熔剂法生长的晶体内常包含的固态包体有结晶相包体、助熔剂包体、未熔化熔质包体和坩埚金属材料包体等。结晶相包体如合成祖母绿晶体内的硅铍石包体。助熔

[1] 1ct（克拉）=0.2 g。

剂包体通常较多，不透明，形态多样，有时和天然宝石中的包体也很相似。助熔剂法生长的晶体或多或少都要受到坩埚材料的污染，并存在一些未被熔化的熔质原料包体。

2）气态包体　助熔剂法生长晶体内的气态包体是由于助熔剂具挥发性而造成的，有时气态和固态包体会同时存在，可构成气、固二相包体。

2. 生长条纹

助熔剂法生长的晶体有时可观察到平直的生长纹，它是由组成成分的相对浓度变化或杂质浓度的周期性变化引起的。生长纹的出现也与晶体中存在着很细的包体有关。

3. 位错

助熔剂生长的晶体多含有螺旋位错。螺旋位错在晶面上终止时，表面会形成生长丘或卷线，生长丘的下面常联结着小的包体中心。一般来讲，助熔剂法合成的宝石晶体位错密度较低，在稳定生长条件下，晶面上生长丘很少，有时只有一个。

第五节　水热法生长宝石晶体

“水热法”是热液法生长晶体的一种，它适用于常温常压下溶解度低、但在高温高压下溶解度高的材料。生长最典型和产量最大的宝石晶体是合成水晶（SiO_2），其次是合成祖母绿、合成红宝石、无色和橙色合成蓝宝石、合成海蓝宝石等。早在19世纪初，这种方法用来研究地球化学的相平衡和人工晶体的生长，尤其在第二次世界大战时期，由于军事对水晶的需求，使水热法技术得到发展。

我国1958年就开始水热法合成水晶的研究，1964年初进入试生产，以后不断扩大生产，到1993年已达到1200 t/y的生产能力。由于工业应用过剩及我国珠宝行业的兴起，开始转入民用生产，不仅生长大量无色合成水晶用于装饰，辐照技术的引入使大量生产烟晶用于眼镜行业。近年来我国彩色合成水晶生产有重大突破，几乎能生长所有天然水晶的颜色，如紫色、黄色、茶色、蓝色、双色、绿色、黑色等，极大地丰富了装饰品市场，而且大量用于出口。

除了水热法合成水晶外，1987年我国又研究成功了水热法合成祖母绿并投入生产，1993年和1999年又相继成功地生长出了合成红宝石和多种颜色的合成蓝宝石晶体，并对原有合成祖母绿工艺进行了改进。水热法合成宝石在我国合成宝石市场上占有重要的地位。

一、水热法原理、装置与特点

水热法的基本装置包括高压釜、加热器、控温部分等，如图4-1-16。

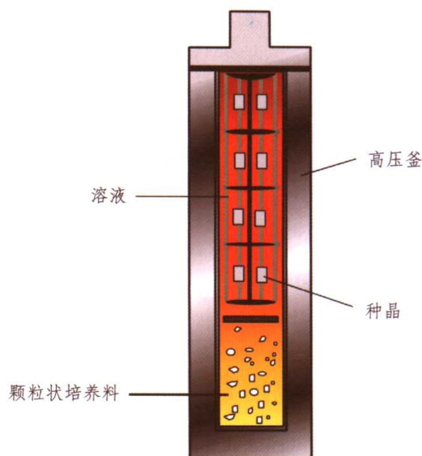


图4-1-16 水热法生长晶体时所用电炉和高压釜的典型配置

高压釜是一个耐压耐热且耐腐蚀的圆形钢筒，端盖可以打开并能密封。釜体材料一般是高强耐热、抗腐蚀性好、抗蠕变性强的特种合金钢。

釜端的密封是关键技术之一，有各种各样的设计方案，有压缩式、拉封式。密封材料有银、纯铁、石墨、铜等各种软材料。

加热器一般用电阻丝加热，把炉丝绕在绝缘支架上，与保温材料做成外套；按温场的要求设计，生长合

成水晶时下部热而上部冷。一般用可控硅供电加热，一方面保证温度梯度，另一方面保证控制精度（± 0.5℃）。

矿化剂溶液因生长晶体不同而异，对合成水晶而言，常用的是碱性水溶液，即 $NaCO_3$ 或 NaOH、KOH 的溶液。原料为碎块水晶。

生长原理是过饱和溶液中生长晶体，在釜下部由于温度较高，SiO_2 渐渐地向溶液内溶解，而上部由于温度低，SiO_2 又慢慢析出，SiO_2 分子慢慢地在已放好的籽晶上生长。

这种方法的优点是适用于一些在高温下存在相变（如α–石英），由熔体生长很困难的晶体的生长。另外，一些在熔点附近蒸汽压高的材料或发生分解的材料也适用水热法。水热法属溶液法生长，能生长出大而完美的晶体。由于该方法与自然界生长晶体的条件很相似，因此生长出的宝石晶体与天然宝石晶体最接近。缺点是设备贵而安全性差，生长过程不直观且生长晶体的大小受高压釜容器大小的限制。

二、合成水晶的生长

现在以彩色合成水晶为例说明合成宝石的工艺条件。

采用的高压釜为经改良后的布里奇曼密封式高压釜，$d_{内}$=200mm，控温系统用DW702精密温度控制仪。

工艺条件：水热法生长的水晶是α–石英。由于石英在573℃时会转变成β–石英，所以，水热法生长水晶的温度应低于573℃。生长区温度为300～340℃，温度梯度为20～60℃；矿化液 x(NaOH) =0.5～0.1mol，x(KOH) =0.5～1.0mol，$x(Na_2CO_3)$ =0.25mol，$x(K_2CO_3)$ =0.25～0.5mol；装满度为75%～85%；原料为熔炼石英；籽晶定向为 Y 或 Z 片。

染色添加剂：$2CoCO_3\cdot 3Co(OH)_2\cdot nH_2O$，$CoCl_2\cdot 6H_2O$，$Co(NO_3)_2\cdot 6H_2O$，$KMnO_4$，$K_2Cr_2O_7$，$Fe(OH)_3$，$Fe(SO_4)_3\cdot nH_2O$ 等。

实践表明，生长彩色合成水晶和生长无色合成水晶不同，生产无色水晶采用 NaOH 和 Ca_2CO_3 作矿化剂，而彩色水晶的矿化剂是 KOH 和 K_2CO_3。

在合成紫晶的过程中，用质量分数为5%的（K_2CO_3+KOH）做矿化剂，并以5～7g/L的剂量加入 $Fe(OH)_3$，生长出的水晶为柠檬黄色，经 ^{60}Co 辐照后变为紫色，若加热紫晶又变为柠檬黄。

彩色合成水晶的颜色与掺入杂质种类、杂质含量和辐照剂有关，表4-1-9仅供参考。

表4-1-9 合成水晶的掺杂与颜色对照表

掺杂种类	质量分数 w_B/%	辐　照	颜　色
Fe^{3+}	0.1～0.7	^{60}Co	紫　色
Fe^{2+}	0.1～0.6	^{60}Co	柠檬黄
Co^{2+}	0.1～0.4	^{60}Co	浅蓝色
Mn^{4+}	0.2～0.5	^{60}Co	墨绿色
Al^{3+}	0.1～0.2	^{60}Co	茶　色

三、水热法合成祖母绿晶体

祖母绿是绿柱石矿物的一种，因含Cr而致绿色。由于它颜色诱人，矿源稀少，祖母绿的合成一直是科学家们关注的目标。1928年R. Nacken、1961年奥地利的Lechleiter、1956年美国的Linde等都先后用水热法合成了祖母绿晶体，并有部分产品供应市场。1988年我国

广西宝石研究所也用水热法合成了祖母绿，现已小批量生产供应市场。

祖母绿的分子式为 $Be_3Al_2Si_6O_{18}$，理论化学成分为 $w(SiO_2)=67\%$，$w(BeO)=14.1\%$，$w(Al_2O_3)=18.9\%$，天然祖母绿含有水，$w(H_2O)=2\%$左右。

水热法合成祖母绿的设备和合成水晶的无原则区别，只是尺寸小一些，并使用贵金属，如黄金、铂等来作内衬，也包括高压釜、加热系统、控温系统等，其结构如图 4-1-17 所示。

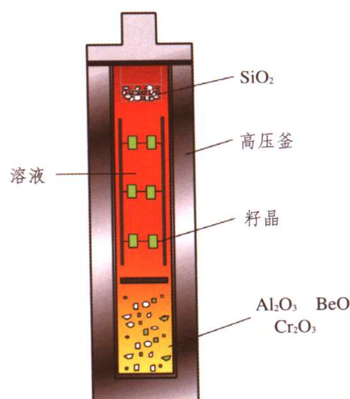


图 4-1-17 水热法合成祖母绿

培养料 SiO_2（水晶小块），$w(SiO_2)=64\%\sim67\%$；Al_2O_3，$w(Al_2O_3)=17\%\sim19\%$（AP级 $Al(OH)_3$）；BeO，$w(BeO)=14\%\sim15.5\%$。

矿化剂溶液 酸性溶液 4～12mol HCl。

籽晶 天然海蓝宝石（$10\bar{1}0$），(0001) 或与柱面成 35° 方向切片。

把培养料、籽晶装入釜内，用螺母密封，高压釜加热，SiO_2 在顶部分解，其他培养料在底部溶解上升，组分在中部相遇，在适当的温度梯度和过饱和度下，在籽晶上沉积而长大，平均生长速度 0.50～0.80mm/d。

用水热法生长的祖母绿颜色好，包体少，与天然高档祖母绿极为相似。

四、水热法合成刚玉类晶体

我国桂林宝石研究所通过不断探索，改进了工艺，使用一种新型的梯形黄金籽晶架悬挂多个籽晶片，在新设计的大型高压釜中使用氧化－还原缓冲技术和不同的致色离子或致色离子对缓慢释放技术生长出了多种颜色的厚板状合成刚玉晶体，其主要工艺条件如下。

梯形水热法彩色合成刚玉多单晶体所采用的工艺设备主要由38mm(d) × 700mm(h)的高压釜和与之配套的温差井式电阻炉组成。高压釜设计采用了双锥密封环、法兰盘式自紧密封结构，这种结构加工简单、操作方便。温差井式电阻炉采取三段控温方式以利于不同地段对温场的不同要求。高压釜内使用了黄金衬管作为防护衬套。

温度及温差 溶解区 550～580℃，生长区 505～515℃，温差 45～65℃。

工作压力 (1.5～2.0) × 10^8Pa。

矿化剂 碱金属碳酸盐的复杂溶液，总浓度 2～3mol/L。

种晶片切向 平行[$22\bar{4}3$]。

挡板开孔率 5%～10%。

液体固体比 1.8～2.0mL/g。

充填度 55%～65%。

单晶生长速率 平均为 6.5～7.5ct/d。

炉温升降速度 从室温升到预定温度需 10h，生长结束降至室温需 24h。

根据晶体不同的颜色要求加入含 Cr^{3+}、V^{3+}、Mn^{3+}、Co^{3+}、Ni^{2+}、Ni^{3+} 等致色离子的氧化物，或其中两种致色离子氧化物粉末的混合物。除合成红宝石和粉红色合成蓝宝石需要加入 Cr^{3+} 作着色剂、无色合成刚玉不需要加入任何着色剂外，其他颜色的合成蓝宝石晶体生长时要控制着色剂的价态，所以除了加入相应的着色剂外，还需要加入氧化－还原缓冲剂，常用 Cu_2O-CuO 或 PbO-Pb_2O 组合，其作用是使着色剂离子以所需要的价态有效地进入晶体的晶格中。氧化－还原缓冲剂装入尺寸为 8mm(d) × 50mm(h)的小型铂金管中，加

入量为所加入着色剂量的5～10倍。该铂金管表面有一定开孔率的小孔并通常置于衬管的最底部。

梯形水热法合成多个彩色刚玉单晶体所采用的培养料为一定数量的、粒径为5～7mm的焰熔法无色合成刚玉晶体碎块和少量$Al(OH)_3$粉体的混合物。培养料放入黄金衬管的底部，然后按照充填度加入矿化剂。

使用黄金丝做出梯形籽晶架，将按一定方向切好的籽晶片用黄金丝连接起来并固定在架子上，一个梯形架每次可以悬挂6～10个籽晶片。籽晶片相互之间的摆向应隔片相互垂直，这样放置的目的是为了使溶质到达每一籽晶片表面的数量尽可能一致，防止某些晶体生长的不均匀性，见图4-1-18。

梯形水热法合成多个彩色刚玉单晶体的生长周期为7～10d，单炉生长晶体350～450ct，单晶重60～90ct。生长出的晶体呈厚板状约为30mm × 25mm × 10mm大小（见图4-1-19）。

生长无色合成蓝宝石晶体不用添加着色剂，但对矿化剂碱金属碳酸盐溶液需进行提纯处理。在相同的条件下，无色合成蓝宝石单晶的生长速度是其他颜色合成刚玉类晶体生长速度的2～3倍。

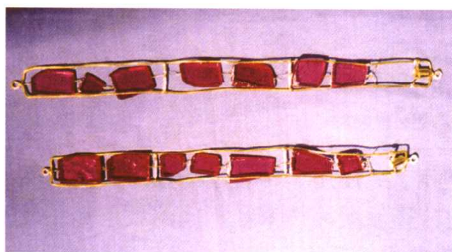


图4-1-18 梯形水热法合成红宝石



图4-1-19 水热法合成红宝石

五、水热法合成宝石的鉴别

1. 籽晶

水热法生长晶体，必须使用籽晶片，而种晶与生长出的宝石晶体在光学特性及其他方面总存在差异。因此，是否有籽晶片的存在，可作为确定宝石晶体是天然品还是人工合成品的证据。籽晶的颜色与生长出的晶体不同则非常容易鉴别；如果颜色相同界线不明显时，可在浸液中观察，依据籽晶片与生长层之间存在不规则波纹状生长界线这一特征进行识别。

2. 包体

水热法生长宝石晶体中会出现气液包体和固态包体。

1）气液包体　水热法晶体生长是所有晶体生长方法中惟一有水参与的方法，因此生长的晶体中常可见到气液包体，且与天然宝石的气液包体非常相似；区别在于，合成晶体中的气液包体立体感强且较为规则，主要出现在籽晶的生长界面上。

2）固态包体　水热法合成宝石中常见的固态包体有合成水晶中的锥辉石或石英的微晶核组成的“面包渣”状包体，合成祖母绿中的硅铍石包体（有时和气液包体一起形成钉状包体），合成刚玉宝石中呈絮状或团絮状分布的黄金微晶集合体。

3. 生长纹理和色带

绝大多数水热法生长的宝石晶体中都有明显的波状生长纹或锯齿状生长纹。

第六节　高温超高压法合成钻石

早在18世纪的后期就已经证实了钻石和石墨都由碳元素组成，后来就开始了合成钻石的研究工作，经过较长时间的艰苦努力，于20世纪中叶才在实验室合成出人工钻石，初期的合成钻石仅仅是磨料级的。我国在20世纪60年代也合成出了磨料级钻石。

高温超高压法现又称为高温高压法（HTHP）。由于超高压设备和高温技术的限制，起初合成钻石进展较缓慢。直到1970年，美国GE公司才公布了第一颗宝石级合成钻石的诞生，之后几年各国一直在保密的情况下进行研究。进入90年代，合成钻石有了突破性进展，日本的住友公司、英国的戴比尔斯公司和美国的GE公司等相继公布了他们合成的宝石级钻石，引起了珠宝界的震惊。

关于合成钻石的方法，可分为静压法、动压法和气相外延生长法。大颗粒宝石级钻石主要是用高温超高压（HTHP）静压法中的晶种触媒法（包括压带法和BARS法）及最近多种媒体报道的化学气相沉淀法（CVD法）合成的，本节及第七节将分别予以重点介绍。

一、HTHP法合成钻石的原理

1. 石墨与钻石的转换

合成钻石就是人为地模拟天然钻石的形成条件，使非金刚石结构的碳转化为金刚石结构的碳。

钻石的晶体结构是1913年由W. L. Bragy等测定出来的，钻石大部分呈立方结构而石墨则呈层状结构。金刚石的结构详见本书“钻石”一节，石墨结构如图(4-1-20)。

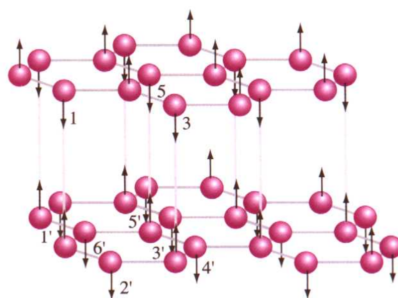


图4-1-20 石墨结构图

钻石中碳原子的2*s*、2*px*、2*py*、2*pz*四个轨道形成四个sp^3杂化轨道，形成四面体配位，每个碳原子与周围的四个碳原子形成共价饱和键，键长0.154nm。

石墨的碳原子分布在六角环上，每一个碳原子为相邻的三个碳原子所围绕，其间距为0.142nm。相邻两层碳原子错位堆积，层间的间距为0.34nm，键力相对弱得多，所以石墨具一组极完全解理，可以滑移而分开。在高温高压下石墨可以转化为金刚石。

如图4-1-20所示，石墨的层间排列，间距为0.34nm，碳原子错位堆积；高压下Z轴方向中层间互相接近，由于碳原子错位堆积，1′、3′、5′向上运动，1、3、5、2′、4′、6′向下运动，从而石墨结构变为金刚石结构。

2. 合成钻石的生长机制

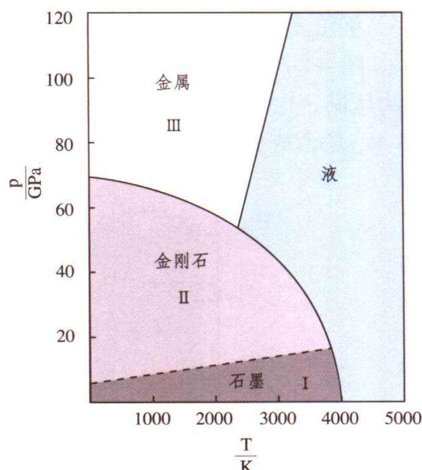


图4-1-21 碳的相图

长期以来，各国科学家都在努力寻找金刚石晶体生长的条件。图4-1-21是石墨－金刚石转换相图。由相图可知：固相区Ⅰ为石墨区，Ⅱ为金刚石区，Ⅲ为金属碳区，还有液相区。在低压高温区，主要以石墨

相存在，只有在较大的压力和较高的温度范围内，金刚石才是稳定的相。除气相法、外延生长法之外，金刚石晶体生长都在较高的压力范围内，触媒法可以使压力降低一些。

由相图4-1-21还可以看出，在相图上部，碳质原料在超高压高温下，碳原子集团经过压缩、切变、热振动，使非sp^3杂化的原子轨道向sp^3杂化转化，从而使金刚石成核生长。在低于上述压力下，在金刚石、石墨稳定区界线上，压力和温度不足以使碳原子达到金刚石结构。但如果利用熔剂－触媒的复合作用，仍可达到目的，因为这些熔剂的熔化温度相对低，并与碳共熔，使碳原子与熔剂相互扩散，形成二维、三维的间隙相，最终形成金刚石相。

现代的科技条件，很容易实现稳定可靠的技术装备和实验条件，因此，生长出宝石级钻石就成为可能。近几年，各国科学家进行了大量研究，就温度、压力、时间等实验条件和熔媒种类、碳质原料种类、杂质影响等各方面得出许多实验资料和经验，从而更加完善了合成钻石的生长理论。

二、HTHP法合成宝石级钻石的设备与合成工艺

（一）HTHP法合成钻石的设备

静压法合成钻石的设备大致可以分为四部分，即大吨位的液压机、合成钻石用高温高压容器（即模具）、加热系统和控制检测系统。

由于采取的是超高压设备，从技术上有许多难题，如材料的力学性能要高，加工精度高，压机能长时间保持压力稳定并可以升压和降压。这对压机油缸、密封、液机元件、机械加工精度等均提出了很高的要求，达到这些要求绝非易事，它与整个机械工业水平有关。

此外，对于压力容器的要求则更高。首先是材料问题，能承受高温下500×10^8Pa以上的压力的材质较少，且价格昂贵，高压下材料的性能有可能改变，甚至会自爆。目前，加热系统和测量系统已实现了自动化。

实现HTHP法的设备方案较多，有六面顶、四面顶、两面顶。下面以两面顶年轮式为例介绍一下设备原理（见图4-1-22）。1为油压机机架，可以整体铸造，对于小于1000吨位的压机可以采用铸件，如果吨位较大，可以用缠绕式机架，即机架由钢丝或钢带缠绕而成；2为高压容器，是合成金刚石的关键部分，对它的材质、加工精度、形状设计都有严格的要求；3为油缸，内部活塞靠高压油上下移动，使模具压紧，这和其他类型油压机原理类似。

年轮式高压模具如图4-1-23所示。

图4-1-23中1为压缸，它是由硬质合金做成的，一般为W、Co、C合金，w（Co）=15%；2为压砧，也是硬质合金，一般w（Co）=6%；3为耐热含金钢环；由压缸和压砧组成一个舱体4，是合成金刚石的室。

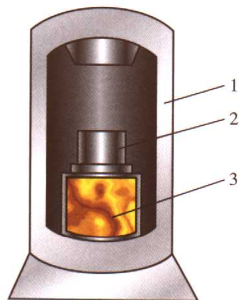


图4-1-22　主压机示意图

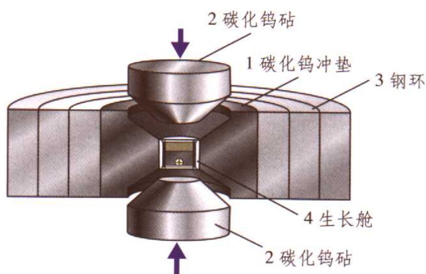


图4-1-23　年轮式高压模具

年轮式高压模具也可用钢丝缠绕而成，以使应力分布更合理，从而提高模具的使用寿命。

合成金刚石所采用的生长舱有各种结构，简单的生长舱结构如图 4-1-24 所示。

图 4-1-24 中，1 为叶蜡石，是理想的固体传压介质和绝缘介质，由于它含结晶水，影响金刚石的合成，目前大部分是用烧过的叶蜡石粉末再压制成型，不仅降低成本，提高了材料利用率，而且满足了合成工艺的要求。叶蜡石是合成金刚石工艺中的关键性辅助材料，其作用是：传压、保温、绝缘、密封。

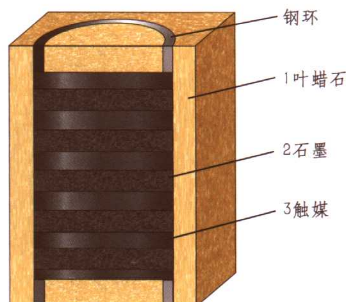


图 4-1-24 金刚石生长舱

图 4-1-24 中，2 为石墨片，合成金刚石就是使石墨结构的碳转化为金刚石结构的碳，因此，碳质材料是关键材料。从理论上讲，各种形式的碳均可以转化为金刚石，但研究表明，不同的碳质材料对生长金刚石的数量、质量和颗粒大小均有相当大的影响，石墨转化为金刚石的自由能较低，因此使用较广泛。现在国内常用的石墨材料为 GAI（原 SK - 2），它是采用熟石油焦粉、沥青焦粉和鳞片石墨为原料，并外加熔化沥青作结合剂加工而成的。

碳质材料是影响合成金刚石质量和产量的重要因素之一，为了获得较好的金刚石，对石墨有如下要求：① 石墨有一定的气孔率，这样可以增加反应面积；② 在合成金刚石的碳质素中，含少量 Ni、Fe、Na、Co 等元素是必要的，因为这些元素在合成过程中可以促进碳原子的活化，破坏原生的结构，为金刚石长大创造条件；③ 对石墨的结晶化程度也有要求，晶体的多少和排列对金刚石的转化都有作用，石墨化程度高，从动力学观点来看，转化为金刚石相对容易。

图 4-1-24 中，3 为金属合金，即触媒片，根据碳的相图，石墨转化为金刚石时要 2.5×10^5kPa 的压力和 2700K 以上的温度，为了使合成温度有所降低，用加入合金的办法，使碳在熔化的合金的作用下，以类似于熔盐法生长晶体的过程生长。在研究过程中，采用了各种金属做试验，现在大部分用 Ni、Mn、Co、Fe 的合金，甚至有专门用于合成金刚石的合金片，如 $Ni_{95}Co_5$、$Ni_{65}Mn_{35}$、$Fe_{73}Co_{27}$ 等。研究表明，Ni、Mn、Co、Fe、Cr 等元素或由它们组成的二元、三元、多元合金，是合成金刚石基本的、有成效的触媒合金，若掺入微量 Cu、Nb、Mg、B、Al 等，不仅可改变金刚石成核与生长的条件，而且还可以生长出不同的金刚石。

晶体生长舱有各种形式的排列和组合，图 4-1-25 为一种大颗粒金刚石生长室的结构。把原料如图装进生长舱（即压缸）内，起动压机，把两个压头压紧密封，并通电加热。用这种加压、加温方式，可以生长出大于 1mm 的金刚石，但单次产量不高。

关于高温加热系统，在静压法中有直接加热和间接加热两种，直接加热是通过反应材料本身发热，间接加热是通过套在外面的石墨管（与缸体绝缘）加热。

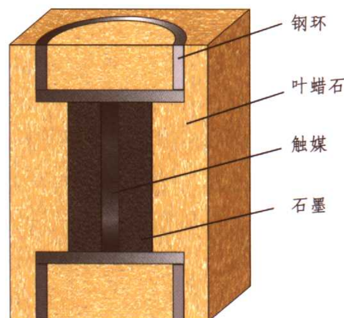


图 4-1-25 大颗粒金刚石生长舱

（二）HTHP 法合成宝石级钻石的工艺过程

最常见的合成宝石级钻石的方法是压带法和 BARS 法。

1、压带法合成钻石工艺

1955 年通用电器公司（GE）宣布利用压带（belt）装置首次成功生产出合成钻石，直至

1970年通用电器公司采用晶种触媒法经过七天的生长获得了大于5mm、重约1ct的钻石单晶，其生长舱如图4-1-26所示。

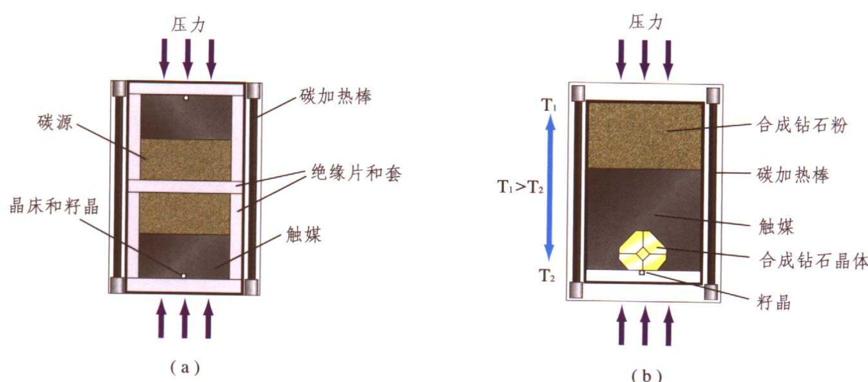


图4-1-26 合成宝石级钻石生长舱（a）和改进后的生长舱(b)

图4-1-26所示的生长舱分上下两部分，作为碳源的金刚石粉放在压腔中心区，两端放置籽晶，触媒金属（铁或镍）放在碳源与籽晶之间，利用碳管的电阻加热（用碳管的不同厚度或用其他热材料放在不同部位也可改变温度梯度），在舱内保持一定的温度梯度，中心碳源区温度最高，端部结晶生长区的温度最低。当加热到1700°C时，金属触媒熔融，中心碳源区的金刚石粉就不断溶解到金属触媒中变成游离碳原子。起初，碳的密度比金属小，因此籽晶有从底部晶床向舱体中心区（籽晶被溶解）或从中心区向上端晶床上浮的倾向，约1h后达到平衡。顶部晶床含有许多细小的金刚石晶体，而在底部晶床上剩下少量的金刚石晶核，由于碳在金属中已达到饱和，所以金刚石晶核不再继续溶解，金属熔融体中的碳开始了缓慢的扩散过程。由于舱体内温度中心区高、两端低，所以中心区溶解的碳原子多于端部，并向端部进行扩散，从而沉积在金刚石晶核上。这个过程不断进行，直到中心区的细金刚石粉用完为止。若能使舱体中部与端部的温度梯度保持在30°C/cm时，晶体就能稳定地生长成宝石级大小的金刚石。又由于底部晶床晶核少，故能获得大的宝石级金刚石。

实验证明只要保持温度为1370℃、压力为6.0×10^9Pa，生长一周即可获得5mm大小（约lct）的宝石级金刚石。若在舱体中加入适当的微量元素，可改善金刚石的性能，使金刚石着色，如加入氮，可使金刚石晶体显黄色；加入硼，呈蓝色，并具有半导体的性质。

2. “BARS”法合成钻石工艺

1990年俄罗斯公布了他们用BARS系统生长合成钻石的成果，BARS的意思是分裂球无压装置。近年来，美国Gemesis公司的技术人员在俄罗斯技术的基础上改进，设计了一个新的BARS“分离体”的装置。该装置合成舱体（大约有2.5cm厚）中的压力是从一个连续的碳化钢压砧复合施压而获得的。内舱设置6个压砧，这些压砧位于立方体的面部，围绕着合成舱体；外舱设置8个压砧，它们位于八面体的面部，围绕着内舱。整个排列好的多压砧部件被放在两个钢铸的半球中（这两个铰接的半球就称为“分离体”，可以作为压砧和合成舱体的通道），有两个大钢铁把这些部件连接在一起，见图4-1-27。这种“BARS”装置采用石墨管来加热合成舱体。

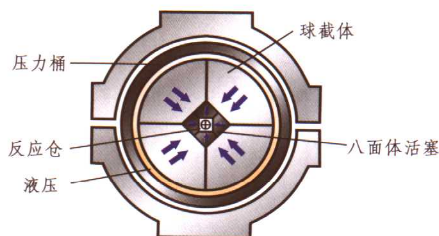


图4-1-27 改进的“BARS”法合成钻石装置

经过改进的设备具有使用寿命较长、生产率高、操作较为简单、更容易维护等特点。重要的是，它的操作十分安全，在操作过程中高压容器泄漏而导致危险的机率也很小。除了纯度、浓度和晶体的初始生长外，商业化宝石级合成钻石生长的关键是要小心谨慎地通过电脑控制整个晶体生长过程的温度和压力，以保证持续稳定的生长环境。另一个技术创新就是铸造半球可以开合，便于进行样品的装卸。

使用这种改进的设备，生长3.5ct的合成钻石晶体大约需要80h。合成钻石中黄色的浓度及晶体的外形、对称性、透明度，均可以控制在一定的范围内。该装置曾用实验的方法在一个舱体内生长出多个晶体，晶体生长的周期为36h。但是，由于容积所限，这些晶体生长得很小。倘若舱体内生长4个晶体，则每个晶体只有0.6ct大小；如果舱体内生长8个晶体，则每个晶体只有0.35ct。

“BARS”法合成钻石的工艺条件为：

1）压力　5.0～6.5GPa（相当于5万～6.5万大气压）。

2）温度　1350～1800℃。

3）触媒　各种过渡金属（如Fe、Ni、Co等）。

4）种晶　天然钻石或合成钻石。

5）碳源　石墨粉或金刚石粉。

种晶的定位决定了生长晶体的晶形。在合成舱体的顶端（亦称“热端”，放置碳源）和底端（亦称“冷端”，放置晶种）存在着很小但却很重要的温差。该温差为钻石晶体的生长提供了动力，因此，这项技术也被称为“温度梯度”法。在高温高压的条件下，原料区的石墨粉迅速在热端熔融于金属熔剂中。在温度梯度的推动下，热区碳原子通过熔剂，向舱体冷端扩散，最终沉积在种晶上，结晶成为单晶体。

第七节　化学气相沉淀法合成宝石

化学沉淀法主要包括化学气相沉淀法和化学液相沉淀法。用化学液相沉淀法合成欧泊、绿松石、青金石和孔雀石等多晶宝石材料的方法及鉴别在本书宝石各论中已进行了介绍，本节主要介绍用化学气相沉淀法（简称CVD法）合成多晶金刚石薄膜、大颗粒钻石和碳硅石单晶材料的工艺过程。

一、CVD法合成金刚石薄膜

早在20世纪50年代和60年代，美国和前苏联的科学家们先后在低压条件下实现了金刚石多晶薄膜的化学气相沉淀（CVD）开发研究，虽然当时的沉淀速率非常低，但无疑是奠基性的创举。进入80年代以来，科学家们又成功地发展了多种CVD金刚石多晶薄膜的制备方法，如热丝CVD方法、微波等离子体CVD方法、直流等离子体CVD方法、激光等离子体CVD方法、等离子增强PECVD方法等。随着合成技术的日趋成熟，金刚石薄膜的生长速率、沉积面积和结构性质已经逐步达到了可应用的程度。

1. CVD法合成多晶金刚石膜的原理

化学气相沉淀法是以低分子碳氢化合物（甲烷CH_4、乙炔C_2H_2、苯C_6H_6等）为原料所产生的气体与氢气混合（有的还加入氧气），在一定的温压条件下使碳氢化合物离解，在等离子态时生成碳离子，然后在电场的引导下，碳离子在金刚石或非金刚石（Si、SiO_2、Al_2O_3、

SiC、Cu 等）衬底上生长出多晶金刚石薄膜层的方法。以金刚石为衬底生长金刚石薄膜的CVD方法也叫做外延生长法。有人曾利用微波等离子体CVD方法，以CH_4和H_2为原料在金刚石衬底的（100）表面成功地生长了厚度为20μm的金刚石外延层，该外延层具有平滑的外延生长表面和高的晶体质量，生长速度为0.6μm/h，而在金刚石（110）和（111）面的外延生长的晶体质量较差。这说明，金刚石的同质外延层的质量直接与衬底金刚石的晶面取向有关。

2. 等离子增强 PECVD 法工艺条件

等离子增强PECVD方法是目前合成金刚石薄膜采用最多的方法之一，其反应装置见图 4-1-28。

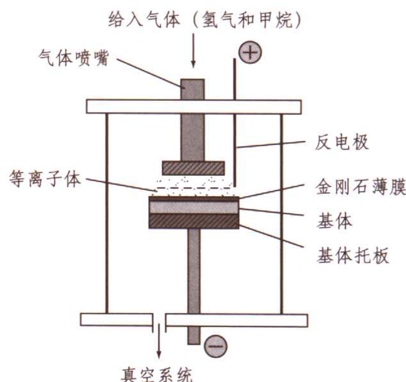


图 4-1-28 PECVD 法合成金刚石薄膜示意图

等离子增强化学沉积法（PECVD）工艺需要使用能源装置，将输入的气体电离，产生出富含碳的等离子气体带电粒子。碳氢化合物气体通常采用甲烷和氢气，其体积比为（0.1～1）:（0.9～9）；反应过程中需要的温度为700～1000℃，压力为（0.7～2）× 10^4Pa。在上述工艺条件下，碳氢化合物气体粒子分解，碳原子沉积在基体材料上，形成合成金刚石薄膜。

3. CVD 方法合成金刚石薄膜的应用

据介绍，化学气相沉淀法合成的金刚石薄膜在工业上的用途极广，例如可做机械零件上的镀膜以增加耐磨性和润滑性；使用在电子产品上可提高散热效果；可以用来制作超级计算机的芯片、最好的滤波器；用在光学产品上可增强透视效果、保护镜片；在医学上可做人工关节的界面、人工心脏的阀片、最好的抗酸碱和辐射的保护膜；军事上可做导弹的雷达罩；日常生活上可用于不粘锅、音响振动膜 、剃刀片护膜、条码机护膜等。

目前，CVD 方法合成金刚石薄膜在宝石业方面的应用，主要有下列几种：

1）在各种仿制钻石刻面上镀合成金刚石薄膜，以使其具有天然钻石的部分性质。

2）在天然钻石表面镀彩色金刚石薄膜用来改变刻面钻石的外观颜色，模仿彩色钻石。

3）在切磨好的钻石表面镀金刚石薄膜，可以增加成品钻石的重量。

4）在硬度低的宝石表面上镀金刚石薄膜以增强其耐磨性等，例如在德国已有人对鱼眼石或蓝晶石进行金刚石薄膜处理并获得专利。

5）合成金刚石薄膜技术可用于欧泊表面镀膜处理，防止其失水和产生龟裂现象。

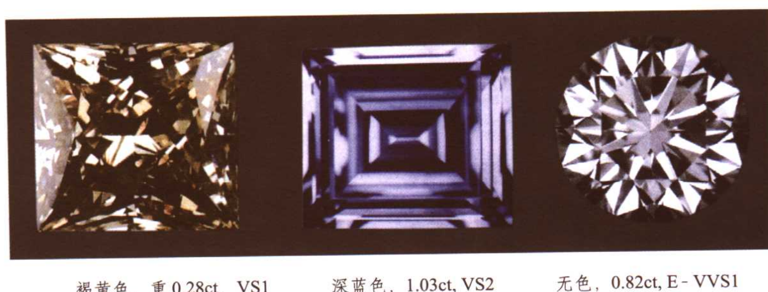
二、CVD 法合成钻石单晶体

近十几年来，化学气相沉淀法合成技术得到了飞速发展，尤其是 2003 年，CVD 技术取得了新的突破，可以以相对低廉的成本生长出大颗粒的单晶体钻石，颜色、净度都可以达到较高的等级，甚至可以切磨出 1ct 以上的 D 色级、净度级别为 IF 的首饰用钻石。2005 年 5 月 17 日美国华盛顿卡内基地球物理实验室分别在日本第十届钻石新科技国际会议和英国宝石协会的Gem-A Mailtalk 网上宣布：他们通过对化学沉淀技术的改进，可以以100μm/h 的速度快速生长出 10ct、半英寸厚的高品质、无色的单晶钻石。但是，合成技术的细节均未透露。

CVD法合成单晶钻石的原理是将甲烷和氢气导入反应腔,利用电热丝、微波、火焰、直流电弧等设备，将碳从化合物分解成原子,在反应腔内形成等离子体。甲烷中的碳原子已具备四

个键的结构，在氢的催化作用下，使每一个碳原子与四个碳原子结合形成钻石结构，并逐渐沉淀生长在预先制备好的“基座”上，其生长速度通常为每小时一微米至数十微米。生长基座可使用天然或高温高压合成的钻石切成平行｛100｝晶面的薄片，用微波加热形成等离子场，在800～1000℃、1/10大气压[1]的条件下，可按需要合成出不同厚度或粒度大小的钻石。

CVD法合成钻石如图4-1-29所示。



褐黄色，重0.28ct，VS1　　深蓝色，1.03ct，VS2　　无色，0.82ct，E-VVS1

图4-1-29 CVD法合成钻石

三、合成碳硅石晶体

1. 概述

早在一个世纪以前，合成碳硅石（SiC）就被制造出来了，并作为磨料在工业上得到了广泛的应用。SiC单晶的生长也已被研究多年，生长出的SiC单晶主要有两种用途：一是作为一种半导体材料，二是在珠宝方面作为一种钻石的代用品。

1955年，莱利（Lely）采用升华法生长出了合成碳硅石晶体，奠定了合成碳硅石发展的基础。虽然用这种方法生长的晶体尺寸较小，且形状不规则，但生长的晶体质量很好，故莱利法一直是生长高质量碳硅石单晶体的方法。1980年初，俄罗斯的戴依洛夫（Tairov）等人对莱利法进行了改进，采用种晶升华技术（又称物理气相输送技术）生长出碳硅石大晶体，且有效地避免了自发成核的产生，宣告有控制地生长合成碳硅石技术获得了成功。这种材料其刻面宝石的颜色可近似于无色。这种合成材料由北卡罗莱纳州道哈姆地区的克瑞研究公司（Cree Researchinc.）生产，并由C3公司销售。

1995年创立的美国诗思有限公司（Charles & Colvard Ltd.），其前身即C3公司，采用高科技成果在高温常压下解决了合成碳硅石的颜色、透明度问题，合成了大颗粒宝石级合成碳硅石晶体，并经过精密的切割后镶嵌在铂金和K金首饰上，正式推向国际市场。到2000年，生长出的合成碳硅石晶体直径已达到100mm。目前，合成碳硅石年产量可达7万多克拉。

2. 合成碳硅石单晶技术

1990年，戴维斯对莱利法进行了改进，其成熟的技术获得了专利。该方法的设备结构简图如图4-1-30所示。工艺中用于生长合成碳硅石单晶的原料粉末经过多孔的石墨管后加热升华成气态，直接在籽晶上结晶，生

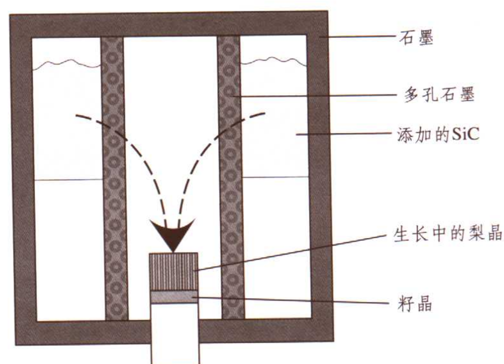


图4-1-30 戴维斯专利中的合成碳硅石生长设备结构简图

[1] 1atm（标准大气压）=101325Pa。

长出梨晶状的 SiC 单晶体。整个过程既有物态的变化，也有物质结构的变化。

戴维斯专利的工艺条件为：

1）粉料的粒径应加以控制，并使用超声波振荡法填料。

2）种晶与粉料应属于同一多型，并且种晶的取向应稍稍偏离轴向。

3）生长初期应抽真空，而后施以低压氩气。

4）采用耐热的石墨套管加热，其中补给区温度为 2300℃，晶体生长温度低于补给区温度 100℃。

5）籽晶的旋转和生长过程中生长晶体位置的调整要准确无误，该方法能生长出达宝石级的有色 6H 型合成碳硅石晶体，直径 12mm，厚度 6 mm，生长周期为 6h。某些生长出的合成碳硅石梨晶表面显示出与钻石表面相似的三角形凹坑。

第八节　人工宝石的鉴别特征

一、合成立方氧化锆

1. 名称

合成立方氧化锆（Cubic Zirconia），简称 CZ。

2. 化学成分

为 ZrO_2，常加 CaO 或 Y_2O_3 作稳定剂，另加多种致色元素（包括 Nd、Co、Ce、Pr、Ti、Cr 等）。

3. 晶系及常见晶形

等轴晶系，常呈块状（见图 4-1-31）。



图 4-1-31 合成立方氧化锆晶体原料

4. 光学性质

（1）颜色

可呈各种颜色（因所加致色元素不同而不同），常见有无色、粉色、红色、黄色、橙色、蓝色和黑色等（见图 4-1-32）。纯净的 CZ 晶体无色，掺 NdO_2 的 CZ 晶体呈淡紫色；掺 Pr_2O_3 生长的 CZ 晶体呈淡黄色；掺特种元素的 CZ 呈蓝色或绿色等。

（2）光泽及透明度

亚金刚光泽，透明。

（3）光性

均质体。

（4）折射率与双折射率

折射率：2.15(＋0.030)；双折射率：无。

（5）多色性

无。

（6）紫外荧光

因颜色各异。无色者短波下常呈弱至中橙黄色，长波下呈中至强的绿黄或橙黄。



图 4-1-32 各种颜色的合成立方氧化锆

（7）吸收光谱

因致色元素而异。

5. 力学性质

(1) 解理

无。贝壳状断口。

(2) 硬度

摩氏硬度为8.5。

(3) 密度

5.80(± 0.20) g/cm³。

6. 内外部显微特征

通常立方氧化锆的大多数晶体是很洁净的，只有少数产品可能会因冷却速度过快而产生气态包体或裂纹。还有些靠近熔壳的合成立方氧化锆晶体内可能有未完全熔化的面包屑状的氧化锆粉末。偶见漩涡状内部特征。

7. 特殊光学效应

色散很强（0.060）。

二、人造钇铝榴石

1. 名称

人造钇铝榴石（Yttrium Aluminium Garnet），简称 YAG。

2. 化学成分

$Y_3Al_5O_{12}$。

3. 晶系及常见晶形

等轴晶系，常呈块状（见图4-1-33）。



图4-1-33 人造钇铝榴石的原料

4. 光学性质

(1) 颜色

常见颜色有无色、绿色（可具变色效应）、蓝色、粉红色、红色、橙色、黄色、紫红色（见图4-1-34）。



图4-1-34 人造钇铝榴石

(2) 光泽及透明度

玻璃光泽至亚金刚光泽。

(3) 光性

均质体。

(4) 折射率与双折射率

折射率：1.833(± 0.010)；双折射率：无。

(5) 多色性

无。

(6) 紫外荧光

无色人造钇铝榴石：无至中等橙色（长波），无至中等红橙色（短波）；粉红色、蓝色人造钇铝榴石：无；黄绿色人造钇铝榴石：强黄色，可具磷光；绿色：强红色（长波）；弱红色（短波）。

(7) 吸收光谱

深绿色、浅粉色及浅蓝色者：600～700nm有多条吸收线（见图4-1-35）。

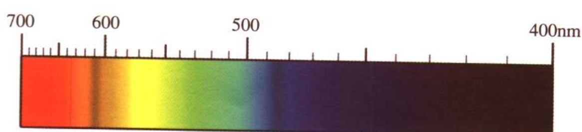


图 4-1-35 深绿色人造钇铝榴石的吸收光谱

5. 力学性质

（1）解理

无解理。

（2）硬度

摩氏硬度为8。

（3）密度

4.50～4.60g/cm^3。

6. 内部显微特征

洁净，偶见气泡。

7. 特殊光学效应

变色效应。

三、人造钆镓榴石

1. 名称

人造钆镓榴石（Gadolinium Gallium Garnet），简称GGG。

2. 化学成分

$Gd_3Ga_5O_{12}$。

3. 晶系及常见晶形

等轴晶系，常呈块状。


图 4-1-36 人造钆镓榴石

4. 光学性质

（1）颜色

通常为无色—浅褐色或黄色（见图 4-1-36）。

（2）光泽及透明度

玻璃光泽至亚金刚光泽。

（3）光性

均质性。

（4）折射率和双折射率

折射率：1.970(+0.060)；双折射率：无。

（5）多色性

无。

（6）紫外荧光

短波，中—强的粉橙色。

（7）吸收光谱

不特征。

5. 力学性质

（1）解理

无解理。

（2）硬度

摩氏硬度为6～7。

（3）密度

7.05(＋0.04，－0.10) g/cm^3。

6. 内部显微特征

可有气泡、三角形板状金属包体、气液包体。

7. 特殊光学效应

色散强（0.045）。

四、人造钛酸锶

1. 名称

人造钛酸锶（Strontium Titanate）。

2. 化学成分

$SrTiO_3$。

3. 晶系及常见晶形

等轴晶系，常呈块状。

4. 光学性质

（1）颜色

无色、绿色（见图4-1-37）。



图4-1-37 人造钛酸锶

（2）光泽及透明度

玻璃光泽至亚金刚光泽，透明。

（3）光性

均质体。

（4）折射率与双折射率

折射率：2.409；双折射率：无。

（5）多色性

无。

（6）紫外荧光

一般无。

（7）吸收光谱

不特征。

5. 力学性质

（1）解理

无解理。

（2）硬度

摩氏硬度为5～6。

（3）密度

5.13(±0.02) g/cm^3。

6. 内部显微特征

放大检查少见气泡，仔细观察，会发现人造钛酸锶刻面宝石的腰围处有明显的磨盘擦痕；并且检查台面抛光情况时，可发现有细痕。

7. 特殊光学效应

色散强（0.190），肉眼观察人造钛酸锶戒面时，其极高的色散十分醒目，几乎每一个小刻面均能反射出五彩缤纷的色彩。

五、合成金红石

1. 名称

合成金红石（Synthetic rutile）。

2. 化学成分

TiO_2。

3. 晶系及常见晶形

四方晶系，常呈块状。

4. 光学性质

（1）颜色

常见浅黄色，也可有蓝、蓝绿、橙色（见图 4-1-38）。

（2）光泽及透明度

亚金刚光泽至亚金属光泽，透明。

（3）光性

非均质体，一轴晶，正光性。

（4）折射率与双折射率

折射率：2.616～2.903；双折射率：0.287。

（5）多色性

很弱，浅黄，无色。

（6）紫外荧光

无。

（7）吸收光谱

黄和蓝色在 430 nm 以下全吸收（见图 4-1-39）。



图 4-1-38 合成金红石

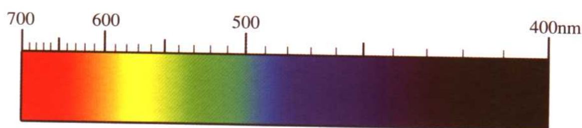


图 4-1-39 黄色和蓝色合成金红石的吸收光谱

5. 力学性质

（1）解理

不完全。

（2）硬度

摩氏硬度为 6～7。

（3）密度

4.26(± 0.03) g/cm³。

6. 内部显微特征

强重影（双折射），一般洁净，偶见有气泡。

7. 特殊光学效应

色散强（0.330），是所有宝石中色散最强的。

六、合成碳硅石

1. 名称

合成碳硅石（Synthetic moissanite）。

2. 化学成分

SiC。

3. 晶系及常见晶形

六方晶系，常呈块状。

4. 光学性质

（1）颜色

常见无色或略带浅黄、浅绿色调。

（2）光泽及透明度

亚金刚光泽，透明。

（3）光性

非均质体，一轴晶，正光性。

（4）折射率与双折射率

折射率：2.648～2.691；双折射率：0.043。

（5）多色性

不特征。

（6）紫外荧光

长波下呈无色至橙色。

（7）吸收光谱

未见特征吸收光谱或在425nm以下有一弱吸收，这与开普系列钻石在415nm有吸收不同，但容易与分光镜光谱蓝区通常的深色截止边425nm相混淆。

合成碳硅石的特征红外吸收光谱为1800cm^{-1}以下吸收，2000～2600cm^{-1}区域内有几条强的吸收峰。

5. 力学性质

（1）解理

无。

（2）硬度

摩氏硬度为9.25，仅次于钻石，且晶体的韧性极好。

（3）密度

3.22 ± 0.02g/cm³。

6. 内部显微特征

在宝石显微镜和放大镜下，可发现合成碳硅石的内部含有白线状细长的管状物（见图4-1-40）、不规则空洞、小的SiC晶体、负晶及深色具金属光泽的球状物，可三粒或多粒呈线状排列，也有一些呈云雾状的、分散的针点状包体，并发现有气泡，双折射（后刻面棱重影）现象明显（见图4-1-41）。

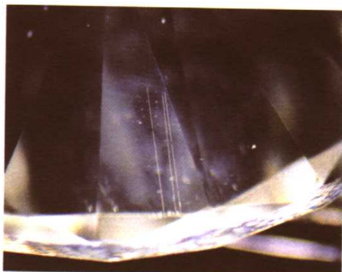


图4-1-40 合成碳硅石的白线状包体



图4-1-41 合成碳硅石的后刻面棱线重影

7. 特殊光学效应

色散强（0.104）。

8. 特殊性质

合成碳硅石的导热性强，热导率为230～490W/(m·k)，与钻石的导热性相近[1]，因此用热导仪检测时，合成碳硅石同钻石一样，具钻石反应，可使用590型无色碳硅石/钻石检测仪进行鉴别。

合成碳硅石的稳定性优于钻石，在空气中1700℃和真空中2000℃稳定。因此，合成碳硅石晶体能够很好地经受住首饰制作和修复的所有工序。

第九节　拼合宝石和再造宝石

一、拼合宝石

（一）概述

拼合宝石，简称拼合石，是指由两块或两块以上材料经拼合而成，且给人以整体印象的珠宝玉石。

宝石的拼合并不是一种新工艺，罗马帝国时代就已经出现了，罗马的首饰工匠将三种不同颜色的宝石用威尼斯松油答黏接在一起制成拼合宝石。国际上，将由两块宝石组成的拼合石叫做二层石（Doublets），由三块组成的叫做三层石（Triplets）。二层石是通过无色胶黏或熔接的方法将两块材料接合到一起的。三层石是使用彩色胶与另外两块宝石材料胶黏在一起，或是用无色胶将三块宝石黏接在一起而制成的（图4-1-42）。

拼合的目的是使一块较小的天然宝石经拼合制成较大的宝石，或者使宝石的颜色和外观更漂亮，还可使宝石表面更耐磨损且光泽更强。拼合的另外一个目的还可为又薄又易损坏的天然宝石的薄片提供坚硬的底托，例如拼合欧泊。

衬底（Foilbacks）也属于拼合石的一种特殊类型，是将非透明的衬底物质加到宝石的后

[1] 1w/(m·k)=1.163kcal/(m·h·k)。

背上，可以使用像镜子一样的反光物质（例如银衬或锡箔）来增加亮度和透明度，也可以采用彩色物质使宝石产生颜色或使较弱的星光效应映衬得更加明显，也可以采用刻线衬底来模仿猫眼效应或星光效应。

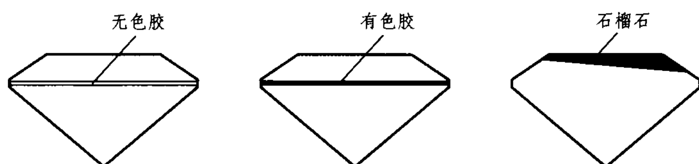


图 4-1-42 二层石和三层石

拼合石在人们发明制造合成宝石材料之前一度很流行，现在有些种类的拼合宝石仍然很常见。

（二）拼合石的主要品种

1. 石榴石和玻璃二层石

将玻璃黏接到一片石榴石上制作而成的二层石。冠部所采用的石榴石通常是较便宜的红色铁铝榴石，并且仅占冠部顶盖的一部分，其目的不是为了增加颜色而仅仅是为了加强耐久性，或用玻璃冒充石榴石。事实上，从上面观察，看不到薄片石榴石的颜色，石榴石和玻璃二层石可以制作出各种颜色。

2. 仿钻石拼合石

曾经有一种无色的衬底玻璃是最流行的钻石仿制品，将其称为“莱茵石”（Rhinestones），名称最初来自于衬底莱茵河的水晶。今天虽然在高档首饰业见不到这种东西，但在时装首饰上还能见到。

另一种曾经很时髦的钻石仿制品是所谓的“漂亮宝石”（Nifty gem）。这种宝石的冠部是无色的合成蓝宝石或无色合成尖晶石，腰部或腰部以下是人造钛酸锶。“漂亮宝石”充分应用了人造钛酸锶强光泽及高色散的优点，而合成蓝宝石或合成尖晶石增强了表面的硬度，即增加了耐久性。但是人造钛酸锶的色散太强，效果不佳；同时人造钛酸锶的硬度较低，耐久性也差。现在这种拼合石已经完全被其他钻石仿制品（如合成立方氧化锆、合成碳硅石等）所取代。

3. 刚玉二层石

刚玉二层石主要由天然刚玉冠部及合成刚玉亭部组成。一般最常见的类型是冠部由天然深绿色或深蓝色蓝宝石组成，而亭部是焰熔法合成蓝宝石或合成红宝石，主要用于模仿深色色调的蓝宝石或红宝石。刚玉二层石冠部也可使用浅色天然蓝宝石或天然红宝石，用于模仿优质蓝宝石和红宝石。

刚玉二层石主要以混合型切工为主，冠部采用明亮式（brilliant）切工而亭部采用阶梯式（step）切工，常见于亚洲宝石市场，冒充天然红宝石和蓝宝石。

4. 仿祖母绿拼合石

祖母绿使用焰熔法很难合成，用助熔剂法和水热法合成成本又高，因此祖母绿的拼合石一直在研究和生产之中。

一种拼合方法是以天然绿柱石为冠部和亭部，用绿胶黏接组成的三层石。鉴定这种三层石时必须非常小心，因为它同祖母绿有基本一致的折射率值。

另一种祖母绿仿制品叫“苏德祖母绿”（Soude emeralds），其早期用无色石英做冠部和亭部，中间用绿色胶黏接。现在新型的“苏德祖母绿”采用一层绿色玻璃代替了绿色胶，用无色胶将其与石英相黏接，这种拼合石的折射率还是石英的折射率，但密度大于2.8g/cm^3，这可能由于中间层的铅玻璃所致。

偶然能见到用天然绿柱石做冠部或亭部而用天然无色石英做亭部或冠部制成的拼合石。

今天最常见的仿祖母绿拼合石是以无色合成尖晶石为冠部和亭部，中间用绿胶粘接制成的，在法国将其称为Soudeesur spinelles。还有一种类似拼合石，采用绿色玻璃代替了绿色胶。这种拼合石有时还制成黄绿色，用于模仿橄榄石。

5. 拼合欧泊

欧泊较薄而易碎，单独使用用处不大。欧泊可以制成多种拼合石，最常见的是欧泊二层石和欧泊三层石。

欧泊二层石是用胶将薄层欧泊黏在一个深色材料基底上制成的，基底常为深色黑玉髓或黑色玻璃。所使用的黏合胶常是一种深色沥青状物质，它保留某些柔韧性，因此增强了欧泊部分的耐久性，同时在黑色背景下，使欧泊变彩易见（同时产生最有价值的黑色的体色）。必须十分小心，不要将这种拼合石同含有欧泊围岩的天然欧泊相混淆。这种天然带围岩的欧泊（Matrixopal）常显示出不规则的欧泊与围岩交界面，而欧泊二层石常显示出直线状接合面。

欧泊三层石的制作基本上与欧泊二层石相同，区别在于欧泊三层石冠部有一种无色透明的材料，使用无色胶黏在欧泊之上以增加耐磨性。这种材料通常是水晶，有时也用玻璃、合成尖晶石和合成蓝宝石等。尽管这种欧泊三层石不难鉴定，但仍要注意与合成欧泊和一种产自加拿大的彩虹色菊石壳化石制作的相似的三层石相区别。

6. 仿星光红宝石和星光蓝宝石拼合石

在发明焰熔法合成星光蓝宝石和星光红宝石之前，人们用拼合石来模仿天然星光刚玉宝石。

最常见的品种之一是用蛋圆型切工的天然星光芙蓉石作顶，底部使用镜面或者结合使用一种蓝色（或红色）玻璃和镜面制成的。另外一种情况是采用了蓝色或红色盖层，这种盖层既能加强星光效应又能产生所需颜色。

也有使用蛋圆型切割的合成刚玉为顶，在底部加上刻面星线的金属衬底制作的仿星光刚玉，或者直接在合成刚玉底部刻线，用反光金属做衬底制成。

7. 其他拼合石

近年来，在市场上还出现了如下多种由天然和合成宝石做成的品种复杂的拼合石：

1）以钻石为冠部，以无色石英、合成蓝宝石、合成尖晶石或玻璃为亭部制作的拼合石。很少见的一种拼合石是由一扁平钻石和另一较小的钻石拼合而成的，被称做“猪背钻石”（Piggy-back diamonds）。

2）由三块半透明近无色翡翠制成的拼合石：一块蛋圆型翡翠插入中空圆盖形翡翠中并用胶与第三块平底翡翠相黏接。在圆盖形翡翠和蛋圆型翡翠之间充填绿色胶状物质，使拼合石整体看起来像优质绿色翡翠。

3）用合成刚玉制作出中空蛋圆型顶盖，在其中加入纤维状硼钠钙石（Ulexite）矿物，基底由中空蛋圆型合成刚玉组成。

4）由无色玻璃或塑料制成蛋圆型顶部，用胶黏接贝壳底座制成欧泊仿制品。

5）用于模仿天然宝石级晶体的其他拼合石。如许多拼合石用于模仿祖母绿晶体：其中品

种之一是将天然石英晶体敲碎，然后用绿色环氧树脂将碎块重新黏接在一起制成；另一品种是将浅色绿柱石在一端钻孔，然后用一种类似于树脂的绿色物质进行充填制成仿制品。

（三）拼合石的鉴定

鉴定拼合石的关键在于头脑中要随时想着拼合石，并且在鉴定时要全方位地研究宝石。对于刻面宝石，如果可能的话最好同时测量冠部和亭部的折射率值，可以帮助鉴定诸如石榴石和玻璃拼合石、绿柱石和石英拼合石等。

1. 石榴石和玻璃二层石的鉴定

鉴定石榴石和玻璃二层石有如下几种方法：

1）将石榴石和玻璃二层石台面朝下放在一张白纸上，在纸上能见到石榴石顶部显示出的红圈效应。

2）用反射光观察冠部或腰部可以发现黏合线，在线的两侧显示出石榴石和玻璃不同的光泽、颜色和硬度差异；颜色的差异在浸液中观察更明显。

3）放大检查可能见到顶层石榴石中的针状金红石包体，下部玻璃中和两部分接合面上的气泡。

4）使用折射仪测量会发现石榴石的折射率常在1.76以上，而玻璃的折射率值常在1.50～1.55之间。

5）在折射仪上还能见到“红旗效应”（Red flag effect），即当用白光进行测量并将目镜去掉测量冠部折射率时，在刻面尺上宝石影像底部会呈现出红光反射作用。

2. “漂亮宝石”钻石仿制品的鉴定

1）在冠部测量具有合成刚玉（n=1.762～1.770）或合成尖晶石（n=1.728）的折射率；而在亭部测量人造钛酸锶的折射率值超过折射仪的上限。

2）冠部本身色散不明显，但一般抛光良好，而亭部色散极强且显示出磨损的痕迹，如抛光较差、划痕、大量棱线磨损。

3）对放入二碘甲烷浸油中的拼合石进行观察，冠部显示低突起，而亭部显示高突起。

3. 刚玉拼合石的鉴定

最常见的品种是以天然绿色蓝宝石为冠部而以合成红宝石为亭部。

1）平行于腰围方向观察时，冠部和亭部在颜色上的差别通常较明显，如在浸油中观察会更明显。但要注意，某些浸油加二碘甲烷可能会损坏胶结层，因此应尽快进行测试且尽早取出宝石。

2）放大检查，在冠部可能看见天然刚玉的包体或者平直的色带，在亭部可能见到气泡和弧形生长纹，在冠部与亭部分隔界面处可见扁平的气泡。从某些角度观察，可能会发现接合面的反射光。

3）在紫外线照射下，冠部通常无荧光反应，而亭部有红色荧光。

4. 仿祖母绿和其他透明宝石的三层石的鉴定

1）使用浸油技术并沿着平行于腰面的方向观察，很容易鉴定。因为会发现三层石的冠部和亭部基本为无色，而两者之间是平薄的色层。

2）在放大条件下沿平行于腰围方向观察或者用手电从后面照明，用肉眼很容易看到中间色带层。也有可能中间层呈无色而冠部和亭部呈彩色。

3）放大检查还可发现，冠部的包体与亭部的包体有可能出现不一致的现象，并且在有色

胶层内可见气泡。如果胶层变干，则可能见到龟裂纹。

5. 拼合欧泊的鉴定

如果没有镶嵌的话，欧泊二层石很容易鉴定，从侧面观察可见明显的直线分界线，欧泊部分显示出变彩效应，而底座呈黑色。如果镶嵌的话，尤其是包镶，欧泊二层石很难鉴定。在放大条件下，用强光纤灯照明可能会发现欧泊和底座之间的胶中所含的气泡。

欧泊三层石从侧面观察可见无色的盖，放大检查可见欧泊和顶盖之间的胶所含的气泡及胶的龟裂纹。

6. 仿星光红宝石和星光蓝宝石拼合石的鉴定

模仿星光红宝石和星光蓝宝石的星光衬底石英较容易鉴定。平行腰围方向从侧面观察，可见无色石英，有时带点粉红色，其颜色没有受到衬底颜色的影响。

二、再造宝石

通过人工手段将天然珠宝玉石的碎块或碎屑熔接或压结成具整体外观的珠宝玉石称为再造宝石。常见的品种主要有再造琥珀、再造绿松石、再造青金石等。鉴定特征详见宝石各论。

第十节　仿宝石玻璃、陶瓷、塑料

一、仿宝石玻璃

（一）概述

玻璃是一种较便宜的人造宝石，用于仿制天然珠宝玉石如玉髓、水晶、绿柱石（祖母绿和海蓝宝石）、翡翠、软玉、绿松石、托帕石等宝石时效果较好，但用仿制刚玉、钻石等宝石时效果较差。

玻璃可以看作是一种液体，但因它是一种处于僵硬状态的液体或呈高黏稠度的过冷液体，所以在通常条件下它又具有固体的性质；从另一个角度讲，也可以把玻璃看作是一种非结晶态的固体物质。对玻璃来说，它的固态和液态之间没有明显的界限。美国材料测试学会（ASTM）对玻璃做了如下定义：玻璃是一种从熔融状态下冷却而未结晶的无机物质。

结晶的固体是有固定熔点的，而非晶态的玻璃则没有。玻璃加热时先变软，逐渐变为黏稠的熔体，最后变为真正的液体。

实际上，宝石学上所指用于仿宝石的玻璃是由氧化硅（石英的成分）和少量碱金属元素如Ca、Na、K或Pb、B、Ti、Al、Ba的氧化物组成的。依据所仿宝石的性质，可改变组成成分的比例。玻璃的成分变化较大，从几乎由纯氧化硅组成的硅玻璃（Silicaglass）到含有低于40%的氧化硅、超过50%氧化铅组成的Strass玻璃。随着氧化铅含量的增加，玻璃的折射率、密度和色散增加。

（二）玻璃的种类

作为宝石仿制品的玻璃主要有两种类型：冕牌玻璃和燧石玻璃。

冕牌玻璃（Crownglass）最常用成分是硅、苏打和石灰，主要用于制作瓶子、窗玻璃和光学玻璃。冕牌玻璃也用于制作时装首饰上的仿宝石饰品。

燧石玻璃（Flintglass）除了含有硅和苏打以外，以氧化铅代替了冕牌玻璃中的石灰，也叫做铅玻璃（Leadglass）。因为奥地利的Joseph Strass首先发现了这种玻璃，所以也叫做Strass玻璃（Strassglass）或Simplystrass。因为铅的存在使折射率和色散都提高了，所以由燧石玻璃制作的仿宝石往往很逼真。

其他类型的玻璃品种包括硅玻璃和硅酸硼玻璃。硅玻璃几乎是由纯的石英熔融而成的，近年来也广泛应用于首饰领域；硅酸硼玻璃主要用于实验室和厨房用具上，很少用于仿宝石。

（三）仿宝石玻璃的生产

绝大多数玻璃仿宝石制品是通过常规熔融技术制造的，在数量上比大规模生产的商业级冕牌玻璃少。玻璃是盛在陶瓷坩埚内熔融的。通常使用压模技术来获得所需要的宝石形状，这样易于形成圆滑的棱角和凹陷的刻面，因此有时需要抛光来进行修理，但抛光有时可能仅仅限于宝石的台面，有时仅限于冠部刻面，有时则是全部刻面。由于常常使用氧化锡作为抛光剂，许多术语如锡切割（tin-cut）、锡抛光（tin-polished）等用于玻璃仿制品上。

为了获得各种颜色的玻璃，玻璃中通常添加金属氧化物作为致色剂。常用的致色元素及得到的玻璃颜色为Mn（紫色）、Co（蓝色）、Se（红色）、Fe（黄色和绿色）、Cu（红色、绿色和蓝色）、Au（红色）、Cr（绿色）及U（黄绿色）。玻璃的最终颜色还取决于下列因素，如玻璃的类型、制造时的氧化还原条件、制造后的淬火等。无色玻璃的制造要添加所谓的“玻璃匠肥皂”消色剂来去除或降低玻璃中由铁杂质产生的绿色调。

某些无色玻璃仿宝石通过在亭部涂上合适的颜色，从而在台面上显示出彩色。某些玻璃仿制品发出的晕彩，包括很便宜的欧泊仿制品，是用类似于相机镜头上的真空覆膜技术处理的。另有许多玻璃仿制品，在亭部加上了类似于镜子的“衬箔”而加强闪光。

玻璃的透明度在制造过程中可以加以控制。如果要获得高透明度的话，则需要高纯的添加剂成分；而半透明和不透明的玻璃制品中则加入了氧化锡。

（四）仿宝石玻璃的性质

1. 外观特征

如果玻璃仿制品是压模制造的，通常显示出圆滑的刻面棱线（某些硬度较低的天然宝石材料，也可能具有圆滑的刻面棱线）和凹陷的刻面。凹陷的刻面是由于玻璃冷却收缩造成的。压模玻璃的另一个性质是表面常有麻点和凹坑，叫做“橘子皮”效应。然而，某些玻璃仿制品经过精细加工，鉴定起来更加困难，有时只有冠部被磨制抛光，而亭部是模制出的。

2. 光泽和断口

大多数玻璃破碎后具贝壳状断口并在断口表面显示出玻璃光泽，有时某些铅含量较高的玻璃具有亚金刚光泽。含有铜晶体包体的金星石玻璃仿制品可能由于包体的作用而形成锯齿状断口。除了玉髓和高品质的绿松石外，大多数集合体宝石不具有贝壳状断口，以此可以和玻璃仿制品相区分。

3. 显微特征

典型的玻璃仿宝石制品含有气泡，气泡大多呈球形，但也可呈椭圆形、拉长形，甚至管状。在切割的宝石表面，可能会见到气泡留下的半球形凹穴。玻璃仿制品可能会形成流动线构造或不规则的交错色带。这是黏稠液体在冷却后保留下来的特性之一。

4. 硬度

玻璃的硬度（H_M）是5～6，低于绝大多数它们所模仿的天然宝石。

5. 折射率

一般玻璃折射率范围是1.47～1.70，最高可达1.95。折射率的不同主要源于其化学成分的不同，见表4-1-10。表中列出了常见玻璃类型的主要成分及其部分物理特征。其中折射率高于1.70的玻璃通常硬度较低。

6. 光性特征

玻璃是非晶态的物质，为均质体（单折射）。但由于应力作用，某些玻璃在正交偏光镜下旋转时常表现为蛇皮状交叉或非交叉消光带，显示出异常双折射现象。有些脱玻化玻璃（如仿翡翠的Imori stone或Meta jade）会产生部分重结晶，在正交偏光镜下显示全亮。

7. 密度

密度随化学成分的不同变化也较大，可从2.20g/cm³变化至6.30g/cm³，如表4-1-10所示。

表4-1-10 常见玻璃类型的成分及物理特性

类　型	成分 w_B/%	n	ρ/g · cm^{-3}
熔炼玻璃	SiO_2 100	1.46	2.2
普通玻璃	SiO_2 73，B_2O_3 12，CaO 12	1.5	2.5
硬玻璃	SiO_2 72，B_2O_3 12，Na_2O 10，$A1_2O_3$ 5	1.5	2.4
铅玻璃	SiO_2 54，PbO 37，K_2O 6	1.6	3.2
重铅玻璃	SiO_2 34，PbO 34，K_2O 3	1.7	4.5
超重铅玻璃	SiO_2 18，PbO 82	1.96	6.3

8. 导热性

玻璃导热率低，放在手上时，通常感觉温热；而天然或合成的晶质材料由于具有更好的热传导性，通常感觉很凉。

9. 特殊光学效应

可见猫眼效应、星光效应、砂金效应、变色效应、光彩效应、晕彩效应和变彩效应。

（五）常见玻璃仿宝石制品及其鉴定

1. 透明宝石的玻璃仿制品

尽管玻璃可以用于模仿任何种类的透明宝石，但实际上最常用于模仿的是绿柱石（祖母绿和海蓝宝石）、石英（水晶、黄晶、紫晶）和托帕石。在鉴定绿柱石和托帕石的仿制品时要十分小心，因为玻璃仿制品的折射率和密度值均在这两种宝石的范围之内。同时要注意的是，某些祖母绿的玻璃仿制品内部可能含有成群的气泡，形成了类似于气液两相“指纹状”包体（有趣的是，这种包体有些类似合成祖母绿中的次生助熔剂包体）。然而，玻璃毕竟是均质体，而绿柱石和托帕石是非均质体，可以据此鉴别。

2. 非透明宝石的玻璃仿制品

玻璃常用于模仿许多半透明至不透明的宝石，尤其是市场上常见的玉髓（或玛瑙）的各个品种。浮雕玻璃仿制品也常用于模仿玛瑙浮雕，即以一种颜色的玻璃为底衬，以另一种颜色（通常是白色）的玻璃做出浮雕图案。

仿欧泊、珍珠、月光石等半透明的玻璃仿制品是通过添加氧化物、磷酸盐等成分到含石灰的玻璃中，使玻璃中形成不溶的钙化合物，根据含量使玻璃呈半透明或不透明。

其他非透明玻璃仿制品包括仿绿松石和青金石，以及仿象牙、珊瑚、贝壳等有机宝石玻

璃仿制品；也有用于模仿软玉和翡翠的玻璃仿制品，这类玻璃仿制品发生了部分脱玻化。脱玻化玻璃最早是在日本东京的Imori实验室制作出来的，可被制成各种颜色，并具有不同程度的脱玻化。这种玻璃仿制品在显微镜下观察能见到一种类似于蕨叶状的结构。

3. 具特殊光学效应宝石的玻璃仿制品

（1）“变彩”玻璃

人们制作出许多种玻璃仿制品用于模仿欧泊，最经济的方法是将金属箔片加入到熔融玻璃之中，或将珍珠贝的碎屑掺入到玻璃中。

一种在市场上标明 Slocum Stone（斯洛卡姆石）出售的欧泊玻璃仿制品是由 John Slocum 发明的。这种玻璃仿制品有各种体色，包括白色、绿色、黑色、近无色和橙色。其中橙色是用于模仿墨西哥的“火”欧泊。在反射光下观察，颜色斑块近似于金属箔片，而在透射光下观察却像彩色赛璐珞（玻璃纸）。这种材料的折射率为1.50～1.52，密度通常为2.41～2.50g/cm^3。同其他玻璃一样，这种玻璃仿制品也含有气泡和流动构造。

（2）具砂金效应的玻璃仿制品

商业名称中的“金星石”或“砂金石”是一种含有大量片状金属铜晶体的无色玻璃。褐色的金属铜晶体使材料整体显示出橙褐色并产生出闪烁的砂金效应。这种玻璃仿制品相似于天然的具砂金效应的日光石。

“金星石”在制作过程中是将氧化亚铜加入到玻璃中，在淬火过程中氧化亚铜被还原成金属铜。铜的粉屑呈小的三角形和六边形晶体，在显微镜下即可鉴定。这种方法也可以制作出含有金属铜片的蓝色玻璃，用来仿含有黄铁矿的青金石。

（3）具猫眼效应的玻璃仿制品

有许多方法可以生产出具猫眼效应的玻璃仿制品。

一种称之为“火眼”（Fire eye）的玻璃猫眼，其内部含有长的、平行排列的气泡是通过充气过程产生的，这种充气过程类似于碳酸饮料的充气过程。

较好的方法是采用加热方法将成束的细纤维材料熔结在一起形成“马赛克”结构而制作的方法。这些“马赛克”主要由在光学上应用的无色玻璃纤维组成。由这种方法制成的彩色玻璃仿制品可以模仿具猫眼效应的各种天然宝石，包括猫眼。这些玻璃纤维以四边形或六边形排列方式堆积，每平方厘米大约有150000根纤维排列，一个小的蛋圆形宝石内部纤维长度加起来超过1609m。

（4）具星光效应的玻璃仿制品

用玻璃可以制成星光红宝石和星光蓝宝石的仿制品，但效果较差。在蛋圆型切工半透明玻璃的底部刻划几套细线，或者用雕刻的金属箔粘合到宝石底部以产生星光效应。一种非常漂亮的星光宝石仿制品是采用压模技术将玻璃制成蛋圆型，同时在表面制成6条凸起的线形成星光状，然后用一种深蓝色釉料涂于宝石的表面，结果形成的星线看上去好像在宝石的表面及表面之下，就像天然星光宝石一样。当然，当转动这种宝石时，星线不会移动，但这种星光效应即使在很弱的光线条件下也很明显，而通常天然或合成星光宝石并非如此。

（5）具变色效应的玻璃仿制品

有两种玻璃仿制品在不同的光源照射下显示出明显不同的体色。其中之一是添加了稀土元素的玻璃，商业名称是 Alexandrium（变色玻璃），在白炽灯下呈现粉红色而在荧光灯（日光灯）下呈紫罗兰色。另外一种玻璃仿制品，商业上叫 Tourma-like（类电气石），在白炽灯

下呈浅粉红色，而在荧光灯下呈不饱和的黄绿色。这两种玻璃的其他宝石学性质同其他玻璃仿制品的基本相同。

（6）珍珠的玻璃仿制品

有一些很漂亮的珍珠仿制品是由玻璃制成的。300年以前人们就制成了较复杂的珍珠仿制品，采用空心玻璃珠在其内表面衬上由鱼鳞制成的彩虹物质，然后将其内部以蜡填充。

目前最好的仿珍珠玻璃仿制品是在白色半透明玻璃的表面涂上几层鸟嘌呤所制成的。

通常，玻璃仿珍珠，牙齿咬会有滑感，而天然珍珠和养殖珍珠则有砂感。放大观察可见玻璃仿制品的平滑表面，在涂层上可见缺口，尤其是在钻孔附近。在涂层内可见到气泡，仿珍珠的断口呈现玻璃光泽。

4. 其他特殊的玻璃仿制品

采用祖母绿的化学成分配方$Be_3Al_2Si_6O_{18}+Cr$，将这些材料熔融并冷却后可得到祖母绿的玻璃仿制品。它有各种名称，如绿柱石玻璃和“科学祖母绿”等。这种玻璃仿制品比结晶的祖母绿硬度低且光泽较弱。

二、仿宝石陶瓷

（一）概述

陶瓷仿宝石制品是利用陶瓷工艺技术，将无机材料粉末（也可在粉末中先加入低熔点的粘接剂将粉末粘在一起）经加热或焙烧，并通过热压而制成的。有时还在制品表面施釉，以增强其光泽。

陶瓷仿宝石制品主要模仿不透明的宝石，如绿松石、青金石、孔雀石、珊瑚、欧泊等。

陶瓷仿宝石制品通常不透明，触摸有温感，放大观察时，可见均匀的粉末状颗粒分布，且通常光泽很暗淡。

需要说明的是，近年市场上出现的人工发光宝石（如“庆隆夜光宝石”）使用的原料是一种以含硼碱土金属铝酸盐为基质，稀土元素为激活剂和附加激活剂的发光材料，经烧结后打磨（或雕刻）抛光而制成，可用于仿“夜明珠”。其工艺过程与陶瓷工艺较为相似。

（二）常见陶瓷仿宝石品种及其鉴别

1. 陶瓷仿欧泊

陶瓷仿欧泊是日本于20世纪80年代后期生产的一种化学粘结陶瓷。其变彩逼真、稳定性好、韧性大、变彩效应持久，但具镶嵌状结构，并且硬度、密度均较天然欧泊大。

2. 陶瓷仿青金石

陶瓷仿青金石又称“着色青金”，是采用多晶尖晶石材料烧制而成的一种含有星点状黄色微粒包体的含钴不透明产品。其特点是折射率（1.728）、密度（3.64g/cm³）、玻璃光泽均高于天然青金石的相应宝石学特征（折射率1.50～1.67；密度2.75 g/cm³；蜡状或油脂光泽）。但是，陶瓷仿青金石中的金星（黄色星点）很软，针可扎破；而天然青金石中的金星坚硬，针扎不动。

3. 陶瓷仿珊瑚

陶瓷仿珊瑚是在碳酸钙（$CaCO_3$）粉末中加入一些天然珊瑚中所没有的添加剂烧制而成的。其结构细腻，颗粒均匀分布，无天然珊瑚的似管道状特征构造，且不具呈波纹状平行的

纤维结构和珊瑚虫孔。

4. 陶瓷仿绿松石

陶瓷仿绿松石采用三水铝石〔γ-$Al(OH)_3$〕材料加绿色着色剂烧结而成。

陶瓷仿绿松石的颜色呆板，结构比天然绿松石致密，其密度和折射率通常也比天然绿松石的大。

5. 人工发光宝石仿“夜明珠”

人工发光宝石是在$SrCO_3$、Al_2O_3和H_3BO_3等原材料中加入Eu_2O_3、Nd_2O_3和Dy_2O_3等激活剂，将二者粉碎并充分混合后放入坩埚中进行烧结而成的发光材料。若改变发光材料中的某些成分及其配比，可以生成不同颜色的发光材料，可进一步加工生产出各种不同颜色的发光宝石，被广泛用于生产宝石戒面、雕刻作品、夜明珠和健身球等产品中。

近年来利用稀土元素作为激活剂合成的“庆隆夜光宝石”发光性能比20世纪60年代初使用硫化锌作基质的发光体提高了近30倍。该发光宝石质地坚硬，体色艳丽多样，化学结构稳定，耐酸耐碱性强，摩氏硬度可达6.5，密度为3.54g/cm^3，折射率为1.65，可以加工成各种饰物，在夜晚或暗处可以长时间发光，且可根据成分不同发出不同颜色的光（见图4-1-43）。

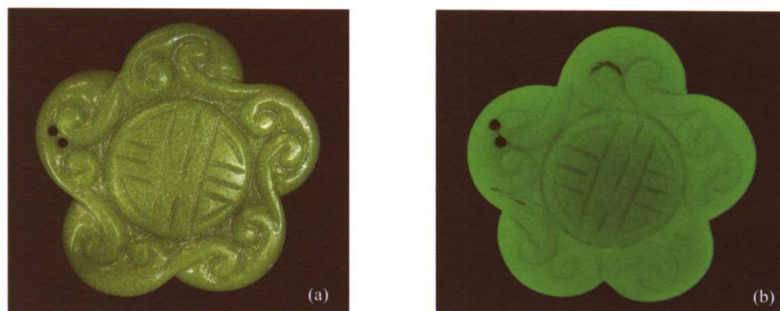


图4-1-43 人工发光宝石产品
(a)日光下；(b)暗室中

三、仿宝石塑料

（一）概述

塑料是一种人造有机材料，是由聚合物长链状分子组成的。塑料可以通过加热或铸模而制成我们所需要的宝石仿制品。最早用于宝石仿制品的塑料品种是赛璐珞(Celluloid)，一种纤维素塑料。如今赛璐珞被大量的合成树脂塑料所代替，其中包括苯酚甲醛树脂（Phenol formaldehtoe resin）、酚醛电木（Bakelite）、甲基丙烯酸甲酯树脂（Methylmethacrylateresins）、聚苯乙烯树脂（Ploystyreneresins）和聚氯乙烯树脂(Olyvinylchlorideresins）等。

一种特别透明且光亮的塑料是聚甲基丙烯酸甲酯。这种材料由丙酮（Acetone）、氰化氢（Hydrogen cyanide）和甲醇（Methanol）为原料制成甲基丙烯酸甲酯。其丙烯酸甲酯具有C—C双键，在催化剂（catalyst）的作用下，双键之一打开，长链状的聚合物分子形成。

表4-1-11列出了可用于宝石仿制品的硬质塑料的主要类型。

表 4-1-11 硬质塑料的主要类型

类　型	典　型　品　种
纤维素（Cellulose）	赛璐珞（Celluloid），硝酸灵（Nieron），Pyralin
苯酚甲醛（Phenol formaldehyde）	酚醛电木（Bakelite），Durez，Catalin
聚苯乙烯（Ploygtyrene）	Distrene，Lustrex，Victron
聚氯乙烯（Ployvinvlchloride）	Geon，PVC，Vinylite
聚甲基丙烯酸甲酯（Polymethylmethacrylate）	Plexiglass，Lucite，Perspex

塑料作为宝石的仿制材料，常用于仿琥珀、象牙、珊瑚、珍珠、贝壳等有机宝石和部分无机宝石（如欧泊、绿松石、翡翠、软玉等），也有用来模仿透明的宝石中的红宝石、祖母绿、紫晶、钻石等。

（二）仿宝石塑料的性质

1. 外观特征

同玻璃相比，塑料更常采用铸模工艺制造仿制品，因此塑料仿制品常显示出铸模仿制品所特有的性质，如铸模痕迹、凹陷刻面、“橘子皮”效应、圆滑的刻面棱线等。

2. 光泽和断口

由于塑料的硬度及折射率值通常较低，大多数塑料显示出油脂光泽至亚玻璃光泽，保存较长时间的塑料则显示出暗淡的蜡状光泽。塑料仿制品的断口通常呈贝壳状至不平坦状且显示亚玻璃至暗淡的断口光泽。

3. 显微特征

同玻璃相似，塑料制品常常显示流动线构造及各种形状的气泡。当气泡达到宝石的表面时，会形成半球形空穴。

塑料所模仿的天然有机宝石材料，如珊瑚、象牙、龟甲等具有的独特结构可以帮助鉴定，因为这些宝石的塑料仿制品缺少这些结构特征。

4. 硬度

塑料的摩氏硬度在 1～3 之间，由于相当软而易于刻划、磨损，形成麻点。

5. 折射率

塑料通常用于模仿折射率值在 1.460～1.700 之间的宝石材料。大多数情况下折射率在此范围的低值区域。

6. 光性特征

透明的塑料仿制品在正交偏光镜下常显示强烈的异常双折射效应，多表现为蛇皮状条带。在正交偏光镜下也常见应力产生的干涉色。

7. 密度

大多数仿宝石的塑料密度在 1.05～1.55g/cm^3 之间。然而，密度低于饱和盐水密度 1.13g/cm^3 者为数不多，因为某些填充剂会导致塑料密度增大（甚至超过 1.55g/cm^3）。

8. 导热性

塑料仿制品接触时有明显温热感。

9. 热针反应

当用热针接触塑料仿制品时，绝大多数塑料仿制品会熔化或烧焦，通常大多数还伴有辛

辣难闻的气味，如醋味、樟脑味、甲醛味、鱼腥味、石炭酸味和水果味等。这些独特的气味有助于鉴别塑料所模仿的有机宝石，如琥珀、龟甲、煤精、黑珊瑚等。

（三）常见塑料仿宝石品种及其鉴定

塑料硬度低，透明度差，其钻石、红宝石、祖母绿的仿制品只能用于做价廉的时装首饰。

半透明至不透明宝石的塑料仿制品，所仿翡翠、软玉、绿松石、青金石和玉髓的品种，铸模痕迹及气泡在表面留下的半球形空穴明显，可作为塑料仿制品的鉴定特征。

模仿有机宝石（如琥珀、龟甲、黑珊瑚、煤精、象牙、贝壳和珍珠）的塑料仿制品中，琥珀的仿制品最为逼真，甚至也可能含有似天然形成的包体如小昆虫及其他有机物质。鉴定时要注意，琥珀是由液体凝结而成的，因此同塑料一样也常含有气泡。利用密度鉴定琥珀的塑料仿制品非常有效，即琥珀在饱和盐水中将漂浮，而琥珀的塑料仿制品（聚苯乙烯除外）在饱和盐水中将下沉。

塑料仿制的龟甲主要用做眼镜框和梳子的材料，塑料仿制的珍珠常用做时装首饰。多年来，用塑料仿制球形海水养殖珍珠和奇形怪状的淡水养殖珍珠一直颇为流行。

玻璃和塑料相结合可制出非常完美的珍珠仿制品。使用的基底材料是半透明的白色玻璃珠（最初使用的是中空填充蜡的玻璃珠），现在也常用半透明的塑料珠或贝壳磨制的珠代替。在这些珠上涂上叫做珍珠精（Essenced Orient）或鱼鳞精（Fish-scale essence）的物质。这种物质的化学成分为$C_5H_5ON_5$，是从某些鱼（如鲱鱼）的鱼鳞中提取的。将这种物质掺入塑性的硝酸纤维漆料中。在涂层干了以后，再涂4至9层便能获得珍珠状光泽。这种类型的珍珠最早出现于1656年，曾经被叫做“巴黎珍珠”、“罗马珍珠”或“蜡珍珠”（Wax pearls）。

现在也使用其他材料如云母、碳酸铜晶体等加入涂料中，有时在这种涂层上再加上鸟嘌呤涂层。

鉴别塑料仿制品也像鉴定玻璃仿制品一样，用牙齿咬塑料制作的珍珠仿制品也有滑感，放大检查表面很光滑，有时在深层表面可见缺口，尤其是在钻孔附近，也可能在表面发现由于塑料从模具中流出所造成的略微隆起线。

塑料制成的贝壳浮雕仿制品常由亚半透明的橙色塑料为底和白色塑料为图案制作而成。塑料也用于模仿具特殊光学效应的宝石。例如用透明的无色塑料加入金属铜，以此来仿制相当便宜的金星石玻璃仿制品。一种由日本制造的仿欧泊塑料仿制品能够显示出一种很真实的变彩，原因是采用了一种改进的类似Pierre Gilson（皮埃尔·吉尔森）合成欧泊的方法，但这种方法并非以硅球为材料，而是以紧密排列堆积的聚苯乙烯球体为材料。在这些球体之间还可以加入另外一种折射率略有差别的塑料进行固结。由于这种材料显示出真正的变彩，因此用肉眼观察难以同天然欧泊和合成欧泊区分开。然而，在显微镜下仔细研究，会发现极其特征的“蜂窝”（Honeycomb）或“蜥蜴皮”（Lizard skin）状结构，类似于合成欧泊。如果没有镶嵌的话，通过测量这种塑料的相对密度（1.18左右）可同天然欧泊和合成欧泊区分开。这种塑料表面覆有丙烯酸薄膜，其折射率值为1.48或1.49，高于天然欧泊和合成欧泊的折射率。使用显微硬度仪进行硬度测试也可测出塑料仿制品通常具有较低的硬度值。

第二章 宝石的优化处理

宝石优化处理工艺最初始于何时，人们尚无法考证。据有关资料记载，早在公元前古罗马和古希腊人就已采用热处理工艺对玉髓进行改色处理。约公元前2000年，在印度曾出现较多的热处理红玛瑙和红玉髓。自15世纪下半叶后，由于化学业、染料业的发展和冶金技术的提高，宝石的染色、充填、热处理技术达到了较高的水平，处理后宝石的颜色较艳丽、耐久。19世纪末至20世纪初，科学技术的日新月异，X射线、γ射线相继发现，为以后的宝石的辐照处理奠定了基础。当今宝石的高温高压、铍扩散、离子注入处理等工艺，充分体现出传统的优化处理技术与现代高新科技的完美结合。经处理后，宝石的外观特征更接近天然，耐久性更好。

天然宝石属不可再生的珍贵矿产资源，而优质宝石的储量原本就稀少，经过长期、大量的开采，许多优质宝石的矿床已近枯竭。近20年来，世界范围内人们对天然优质宝石的需求递增，导致珠宝市场上优质宝石的供需矛盾日趋锐化，价格上涨。因此，开展宝石人工优化处理工艺技术的研究，有助于使不可再生的珍贵宝石资源得以综合利用，既可局部缓解人们对天然宝石的供需矛盾，又使其潜在的美和经济效益、社会效益得以充分开发。

尽管如此，毕竟这类人工优化处理宝石的自身价值无法与其相对应的天然宝石等同（少数处理宝石甚至具有欺诈行为）。随各类宝石优化处理新品种的相继面市，与之相关的鉴定技术和标识问题也就应运而生。

第一节 优化处理的概念及常见宝石的优化处理方法

一、优化处理的概念

优化处理（Enhancement）定义为除切磨和抛光以外，用于改善珠宝玉石的外观（颜色、净度或特殊光学效应）、耐久性或可用性的所有方法。优化处理可进一步划分为优化（Enhancing）和处理（Treating）两类。

优化是指“传统的、被人们广泛接受的使珠宝玉石潜在的美显示出来的各种改善方法”，如热处理红宝石、浸无色油祖母绿及玉髓、玛瑙的染色处理等。

处理是指“非传统的、尚不被人们接受的各种改善方法”，如染色处理翡翠、辐照处理蓝钻石、表面扩散处理蓝宝石、玻璃充填处理红宝石等。属于处理的宝石在市场出售和出鉴定证书时，必须特别标识，如红宝石（处理）、红宝石（玻璃充填处理）。

二、优化处理宝石的工艺要求与特点

（一）美观

一些质次的天然宝石经人工优化处理后，其潜在的美（主要为颜色和光学效应）得以充分展示。如产自斯里兰卡的一种半透明、乳白色刚玉（Geuda corundum），经还原条件下高温热处理后，转变为透明、着色稳定且漂亮的蓝宝石；黄色不透明的锆石经氧

化条件下加热处理后，转变成无色透明的锆石，且具较强色散，可以做为钻石的代用品；人工合成含钛蓝宝石晶体经二次加热和恒温处理后，其内可出现一种Ti-Al化合物呈微细针、丝状包体，沿三组方向析出并定向排列，在其弧面形戒面表面呈现清晰的六射星光效应。

（二）耐久

耐久指宝石的稳定性，即次品质的天然宝石经人工优化处理后，在随后的加工、销售及佩带过程中，宝石的颜色、结构及某些光学性质不会发生明显的变化。如热处理红宝石的颜色相对稳定，并不随佩带时间的推移而发生明显的改变。迄今，对优化处理宝石耐久性的判定尚无统一的标准。

（三）无害

无害指天然宝石经人工优化处理后，其饰品对人体应不产生任何伤害。特别是一些经辐照和染色处理的宝石。例如明显带有放射性残余的辐照处理宝石饰品若在其半衰期内出售，会对人体造成不同程度的伤害，如致皮肤癌、人体造血障碍等。

三、常见宝石的优化处理方法

由于科学技术的不断进步和发展，宝石的优化处理方法也在不断地进步和更新。常见宝石优化处理方法见表4-2-1。

表4-2-1 常见宝石优化处理的方法及类别

宝石	优化处理方法	目的与效果	类别	备注
钻石	高温高压	提高色级或改变颜色（黄绿、粉红）	处理	稳定
	辐照（含热处理）	棕、褐黄色变红、绿、蓝、金黄色	处理	稳定
	裂隙充填	改善颜色、净度	处理	不稳定
	激光	改善净度	处理	稳定
	涂层或覆膜	改善色级	处理	不稳定
红宝石	加热	改善颜色	优化	稳定
	玻璃充填	改善净度、透明度	处理	稳定/不稳定
	表面扩散	改变颜色或产生星光效应	处理	稳定
	染色	改善颜色	处理	不稳定
蓝宝石	加热	改善颜色	优化	稳定
	扩散（表面/体内）	改变颜色或产生星光效应	处理	稳定
	辐照	无色变为黄色；粉红色变橙红色	处理	稳定/不稳定
祖母绿	浸无色油	改善外观	优化	不稳定
	注有色油	改善颜色	处理	不稳定
	人造树脂充填	改善净度、颜色、耐久性	处理	不稳定
欧泊	染色	改善颜色或变彩	处理	不稳定
	注人造树脂	改善外观、颜色、耐久性	处理	不稳定
	覆膜	改善变彩	处理	不稳定

续表

宝石	优化处理方法	目的与效果	类别	备注
翡翠	染色	灰白变为绿、紫、红色	处理	不稳定
	酸碱蚀充填	改善净度和透明度（俗称B货）	处理	不稳定
	上蜡	改善外观	优化	不稳定
	漂白	改善净度（结构未破坏）	优化	稳定
珍珠	染色	染黑色、粉红、紫红、金黄色	处理	稳定/不稳定
	辐照	变灰黑色、浅灰蓝色、孔雀绿色	处理	稳定/不稳定
	漂白	改善外观	优化	稳定
	覆膜	改善外观	处理	不稳定
绿柱石	加热	灰蓝绿变蓝色，橙黄变粉红、红色	优化	稳定
	辐照	无色变为金黄色、蓝色（不稳定）	处理	稳定/不稳定
	人造树脂充填	改善净度	处理	不稳定
碧玺	热处理	灰蓝、紫蓝色变蓝色、绿色	优化	稳定
	辐照	浅粉色变为红色或橙黄色	处理	稳定/不稳定
	充填	改变颜色、净度	处理	不稳定
锆石	热处理	红褐色变无色、浅蓝色、橙红色等	优化	稳定
	辐照	无色变为棕黄、橙红色	处理	稳定
黄玉	热处理	黄褐色变粉红色	优化	稳定
	辐照	无色变蓝色	处理	稳定
水晶	热处理	紫色变黄或绿色，淬火诱生虹彩	优化	稳定
	辐照	改变颜色	处理	稳定
玉髓	染色	变红、绿、蓝等色	优化	稳定/不稳定
	加热	褐黄变暗红、红、橙红色	优化	稳定
绿松石	染色	灰白变蓝绿色、蓝色	处理	不稳定
	人造树脂充填	改善结构、颜色、耐久性	处理	不稳定
	浸蜡	改善颜色	处理	不稳定
坦桑石	加热	除去黄绿色色调，保留紫色和蓝色	优化	稳定
锂辉石	辐照	无色变绿、蓝、粉红、紫红色	处理	不稳定
石英岩	染色	改变颜色	处理	稳定/不稳定
珊瑚	染色	改变颜色	处理	稳定/不稳定
	人造树脂充填	改善结构、外观、耐久性	处理	不稳定
	漂白	改善外观	优化	稳定
琥珀	加热	改善颜色、透明度或外观	优化	稳定
	染色	改变颜色	处理	不稳定
	加热加压	再造	处理	稳定
合成红蓝宝石	淬火充填	改变外观和净度，减少或消除内部弯曲生长纹	处理	稳定

第二节　宝石的常见优化处理的方法及特征

宝石的优化处理方法甚多，目前主要的优化处理方法有：

- 热处理
- 扩散处理（表面或体扩散）
- 高温高压处理
- 辐照处理（含热固色或退火处理）
- 裂隙充填、熔合充填处理（油、蜡、人工树脂、玻璃等）
- 激光处理（含化学处理）
- 染色处理（含热固色处理）
- 涂覆、镀膜处理

一、热处理

将宝石放置在可控气氛和温度的加热设备（电阻箱、马弗炉、石墨管炉、烧结炉等）中，添加不同的化合物或涂填物、选择不同的温度范围、气氛条件（氧化、还原、中性）、加热速率（升温、冷却）及恒温时间对宝石进行热处理，使宝石的颜色、透明度、净度、光学效应等外观特征得到明显改善。经热处理后，宝石的颜色相对稳定，它是一种将宝石的潜在美展示出来并为人们所广泛接受的常见优化方法。热处理方法的主要机理如下：

1. 改变过渡致色杂质离子的价态

选择氧化气氛条件，在高温条件下对浅蓝灰色、浅黄色及浅粉红色蓝宝石进行热处理，通过 $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e$ 价态的转化（$O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$ 电荷迁移），使之转变为橙黄色和橙红色；同理，选择还原气氛条件，在高温条件下对绿蓝色绿柱石进行热处理，通过 $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$ 价态的转化，使之转变为蓝色海蓝宝石。

在还原气氛条件下，对斯里兰卡乳白色刚玉（存在 Fe^{3+}、Ti^{4+}）进行高温热处理（1600～1900℃），有助于实现 $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$ 价态的转化，并导致 $Fe^{2+} + Ti^{4+} \rightarrow Fe^{3+} + Ti^{3+}$ 间的电荷迁移，而转变成蓝宝石（见图 4-2-1）。



图 4-2-1　热处理前后的红蓝宝石

2. 消除不稳定的色心

如无色黄玉经γ射线辐照处理后，易诱生黄色不稳定色心和蓝色稳定色心（组合成褐色/棕褐色），经低温加热退火处理后，有助于消除黄色不稳定色心，稳固蓝色色心，并转变为蓝色黄玉。同理，无色黄玉经带电粒子（电子加速器）辐照处理后，变为蓝绿色（为棕、黄、蓝

色心叠加所致），经中温加热退火处理后，能消除棕、黄色不稳定色心，转变为稳定的蓝色（见图 4-2-2）。

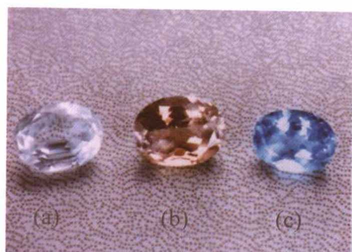


图 4-2-2 辐照改色处理前后的黄玉
(a)辐照前；(b)辐照后(未固色处理)；
(c)辐照后(固色处理)



图 4-2-3 热处理翡翠

3. 脱水作用

某些由褐铁矿（$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$）或氢氧化铁杂质致色的宝石，如黄色玉髓、褐黄色翡翠（见图 4-2-3）黄色木变石猫眼等宝石经热处理后，其内的褐铁矿易发生脱水而转变成赤铁矿（Fe_2O_3），原本黄色调则变为红色、褐红色。

4. 蜕晶质结构的逆转

一些含铀、钍等放射性元素的原生晶质矿物，在放射性元素的蜕变作用下，其晶体结构会遭受不同程度的破坏，进而向非晶质转变，这一作用过程称为蜕晶化作用（也称变生态）。高温热处理作用有助于褐色—褐红色低型锆石（蜕晶化）向晶质逆转化，并变为无色透明的高型锆石。若在还原环境下加热处理，还可得到浅蓝色—蓝色锆石。

5. 净化或老化



图 4-2-4 热处理琥珀及其内部的“太阳光芒”

对一些有机宝石如象牙、琥珀等进行热处理，会使其中的有机质发生氧化，使外观颜色变深，达到“仿古或做旧”的效果。内部含大量微小气泡的不透明琥珀，经热处理后（真空或热油介质条件），可“净化”为透明琥珀。一些琥珀通过加热后，内部可诱发盘状张性裂隙（俗称“太阳光芒”）（见图 4-2-4）。

6. 消除色带、诱生淬火裂隙

焰熔法合成红蓝宝石内部通常含有特征的弯曲生长纹，依据弯曲生长纹可与天然红宝石区分开。高温热处理 / 淬火处理可消除或减弱弯曲生长纹（见图4-2-5），若淬火裂隙再经熔合处理后，内部常诱发指纹状包体，有时与热处理红宝石不易区分。

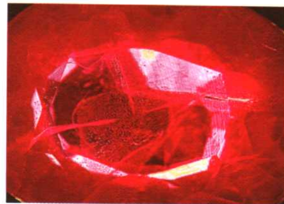


图 4-2-5 淬火充填处理合成红宝石，局部残留弯曲生长纹

7. 消除丝状物和暗色核心或褐斑

高温热处理可去除红、蓝宝石的丝光（多为金红石包体或固溶体所致，经加热至 1600～1800℃，快速冷却），改善其透明度和颜色；氧化气氛条件下，加热至 1200～1400℃，有助于消除红宝石中的暗色核心或褐斑，并有效地改善其颜色。

二、表面与体扩散处理

多应用于红、蓝宝石中，一般用以改善颜色和产生颜色或星光效应。其处理方法大致为，在磨成刻面的宝石坯料表面覆以氧化铝和致色剂（如铁、钛、铬、镍氧化物），在超高温条件下（1800～2000℃）进行加热处理，促使致色元素从表面扩散进入宝石内，而产生一个很薄的颜色层。通常，覆以铁、钛致色剂可形成蓝色薄层；覆以铬致色剂可形成红色薄层；覆以镍、铬致色剂可形成橙黄色薄层。由于高温所造成的表面熔融，宝石须经再次抛光。

近年来，一类据称是铍扩散处理的橙红—橙黄色蓝宝石在市场上面市。与表面扩散处理方法不同在于，铍扩散处理（也称体扩散）在热处理过程中添加了铍化合物，处理后的渗色层厚度较大，甚至整体着色。据相关实验和测试分析资料，超高温（1800～1950℃）、增氧（环境中的氧分压大于晶体中的氧分压时，外来的氧原子沿空位向晶体内扩散）和Be活化剂是导致橙红色—橙黄色蓝宝石致色的主要外因条件，超高温条件下诱生的晶格缺陷（Be^{2+}离子等价或不等价替代Mg^{2+}、Al^{3+}，在替位过程中易产生大量的阳离子空位）是导致橙红—橙黄色蓝宝石呈色的主要内因条件。严格说来，外来的Be^{2+}不属致色离子，它不直接参与橙红色蓝宝石呈色，而是起到一种类似活化剂或拓展空位的作用（见图4-2-6）。

要产生星光效应，则需选择某一温度段进行恒温，使TiO_2与Al_2O_3结合形成Ti–Al化合物，并以微针丝状的形式析出（见图4-2-7）。事实上，表面扩散处理机理亦十分复杂，它与宝石的晶格扩张、热缺陷、空位密切相关，并明显受控于致色离子的性质和浓度、扩散处理温度等诸多因素。

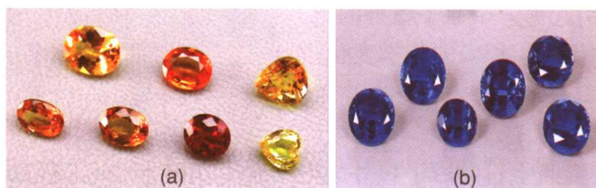


图4-2-6 扩散处理蓝宝石
(a)铍扩散处理；(b)铁钛扩散处理



图4-2-7 扩散处理星光蓝宝石

三、高温高压处理

地球上地幔高温高压环境中结晶出的金刚石晶体，被寄主岩浆（金伯利岩岩浆或钾镁煌斑岩浆）快速携带到近地表的过程中，由于巨大的压力降、所处温度压力条件的迅速改变和晶体与围岩物质的相互碰撞，侵位金刚石晶体的结构局部发生改变，并诱发晶格缺陷（指钻石晶体结构中的局部范围内，质点的排列偏离其格子状构造规律的现象），使一部分原本无色的金刚石的颜色发生改变，从而形成褐黄、棕黄色及粉红色金刚石。

实验室高温高压条件下得到的人工合成钻石为褐色、褐黄色、棕色，金刚石晶体中的原子及杂质原子提供了足够的均向压力和势能，人为调控所处的温度、压力及介质条件，有助于改善或改变钻石中的晶格缺陷，提高其色级或改变其颜色（见图4-2-8）。

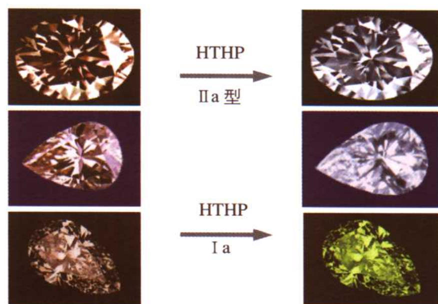


图4-2-8 高温高压处理钻石

高温高压处理，有助于Ⅱa型褐黄色金刚石晶体

克服其所处的势垒，促使金刚石晶体中的晶格缺陷在高温高压条件下发生重组、湮灭，使之修复至塑性变形前的初始稳定状态，并最大限度地恢复其原本无色的面貌；Ⅰa型褐黄色金刚石晶体内由于存在致色杂质氮原子和空位，在现有高温高压处理技术条件下，尚无法消除其褐黄色而提高其色级。因此，只有在金刚石晶体原本存在的晶格缺陷基础上，通过高温高压处理并进一步加剧其塑性变形强度，促进晶体内晶格缺陷的增殖，从而达到改色（褐黄色转变为黄绿色、金黄色，少见粉红色及蓝色）之目的。

四、辐照处理

（一）基本原理

利用辐照源的带电粒子（加速电子、质子）、中子或γ射线辐照宝石，通过带电粒子、中子或γ射线与宝石中离子、原子或电子的相互作用，最终在宝石中形成电子－空穴心或离子缺陷心。辐照的本质是提供激活电子、格位离子或原子发生位移的能量，从而在被辐照的宝石中诱生辐照损伤心，进而产生颜色或改变颜色。

1. 带电粒子与宝石相互作用

一般说来，带电粒子与宝石相互作用主要引起核外电子的激发和电离。当带电粒子接近宝石原子时就会与原子核外电子发生静电作用，而使电子获得能量，如果电子获得的能量足够大，则电子可以从原子中跑出来而使原子电离。被电离的电子仍具有足够大的动能，还可以进一步引起另一个原子核外的电子的激发和电离，引起宝石中原子的位移和相应的化学变化。图 4-2-9 为电子加速器辐照处理黄色绿柱石。

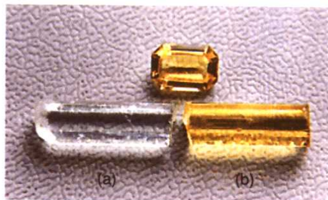


图 4-2-9　辐照处理黄色绿柱石
(a)处理前；(b)处理后

2. 快中子与宝石的相互作用

由于快中子不带电荷，不能与被辐照宝石的原子核外的电子发生作用，因此不能直接对宝石分子产生电离和激发。但快中子可以与其原子核直接发生弹性碰撞、非弹性碰撞、核反应、俘获反应等，产生新的带电粒子或引起离子位移，这些粒子或离子将引起另外的原子或离子电离或激发，产生被电离的位移原子。这些被电离的位移原子实际上是重的荷电粒子，它可以引起进一步的电离和原子位移。

（二）辐照源的类型

1. α 辐射

由放射性元素衰变释放出来的高速飞行的氦原子核，也可以依靠氦离子在回旋加速器中获得。它带有两个正电荷，质量接近4个原子质量单位。重放射性元素放射出来的α粒子的能量约为4～8MeV。

2. β 辐射

产生于原子核衰变或电子加速器。一般放射性核素产生的β射线能量为0.015～2MeV，电子加速器产生的β射线能量在0.2～20MeV之间，它带有一个负电荷。

3. γ 辐射

来自于原子核能态的变化，它是一种波长极短的电磁辐射，是能量$W=hc/\lambda$（式中h为普朗克常数，c为光速，λ为波长）和速度等于光速的光子束流。

4. 中子

中子是质量约为一个原子质量单位的不带电粒子。主要来源有核辐照源、重核裂变、轻核聚变。分为热中子（0.025eV）、慢中子（0.03eV～100eV）、中能中子（100～10keV）和快中子（10keV～10MeV）。

（三）常见色心类型

色心泛指宝石中能选择性吸收可见光能量并产生颜色的晶格缺陷。属典型的结构呈色类型。色心的种类十分复杂，但最常见的为电子心（F心）、空穴心（V心）及杂质离子心。

1. 电子心（F心）

电子心（F心）指宝石晶体结构中由于阴离子空位而引起的缺陷。就整个宝石晶体而言，当阴离子缺位时，空位就成为一个带正电的电子陷阱，它能捕获电子。如果一个空位捕获一个电子，将其束缚于该空位，这种电子呈激发态，并选择性吸收了某种波长的能量而呈色。因此，电子心是由一个阴离子空位和一个受此空位电场束缚的电子组成的。如萤石晶体中的氟离子离开正常格位，而形成一个阴离子空位（缺少负电荷），该结构位显示正电性，形成一个带正电的电子陷阱。为了维持晶体的电中性，阴离子空位必须捕获一个负电子，由此产生的色心称之为电子心（F心）。

若一个阴离子空位捕获两个电子时，称为F′心；两个相邻的F心称为F2心；三个相邻的F心称为F3心；两个相邻的阴离子空位只捕获一个电子称为R心。

2. 空穴心（V心）

空穴心（V心）是晶体结构中由于阳离子缺位而引起的色心。从静电作用考虑，缺少一个阳离子，等于附近增加了一个负电荷，则附近一个阴离子必须成为“空穴”才能保持静电平衡。因此，空穴心是由一个阳离子空位捕获一个“空穴”组成的。空穴与空位含义不同，前者指晶格离子中电荷不足；后者则指晶格中离子的缺失。如烟晶中以类质同象形式替代Si^{4+}的Al^{3+}杂质，在晶格位中形成正电荷不足的位置（正电荷陷阱），为了维持暂时的电中性，Al^{3+}离子周围必须有相应的正一价阳离子存在。当水晶受到辐照后，与最近邻的O^{2-}将失去一个多余的电子，而残留下一个空位，形成空穴心。

（四）常见辐射损伤心类型

辐照处理宝石产生色心的过程较为复杂，往往是多种色心的组合。辐照处理宝石产生的色心，主要有以下两种类型。

1. 电荷缺陷色心

电荷缺陷色心指宝石晶格点阵上的原子或离子仅在带电性质上发生变化而形成的色心，而该晶格位上的原子或离子既不增加也不减少。一般来说，当宝石晶体受到辐射时，辐射粒子与晶格位上原子或离子的外层电子发生相互作用，把辐射能量传给了电子，电子在吸收一定能量后，就会克服原子或离子的束缚而逃逸出去。从而形成了电荷缺陷色心（空穴心和电子心）。

2. 离子缺陷色心

宝石中离子缺陷是指正常晶格位的离子在位置上发生了变化，形成了正负离子空位、空位聚集、填隙离子等缺陷。由此类缺陷所形成的色心称为离子缺陷色心。辐照可以产生离子缺陷色心。例如在辐照Ia型褐黄色钻石的过程中，辐射粒子进入钻石与晶体中的碳原子发生弹性碰撞，在碰撞过程中，彼此间发生能量转移，从而使碰撞粒子的运动状态发生显著的变化，将钻石中的碳原子从其初始位置激离，从而产生GR1色心，形成蓝绿色钻石。钻石晶格

位上原子或离子的电离或激发和中子与钻石晶体中原子核的相互作用，可导致钻石晶格位上离子的迁移，钻石晶格位上出现正、负离子空位或空位聚集和滑移线系。事实上，钻石经辐照后产生的往往是复合色心。

Ⅰa型淡粉红色钻石（塑性形变，橙红色荧光）经辐照处理后，可使颜色的饱和度得到加强，并变成红色或紫红色；某些透明度低的Ⅰa灰色钻石（富H型）经中子辐照处理后，可变成漂亮的深蓝色（见图4-2-10）。

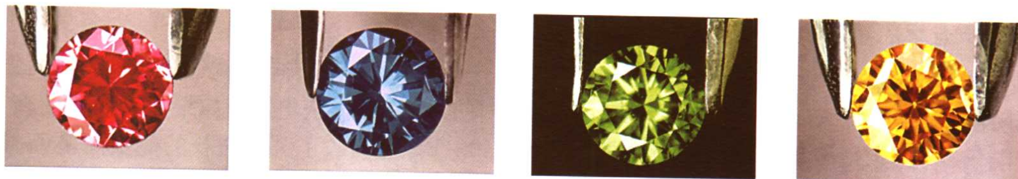


图4-2-10 辐照处理彩色钻石

（五）辐照宝石的色心转型

热处理是辐照作用的逆行为，它能使辐照作用产生的色心释放出来，从而破坏辐照产生的色心。色心具有不同的陷阱能级。加热可以使处于陷阱能级中的电子，越过陷阱能垒使色心消失。若被捕获的电子释放后不能返回原位，又被另一种缺陷中心所捕获，这时则可形成新的色心，实现色心转型。例如对辐照处理蓝绿色钻石进行高温退火处理，随温度的升高钻石的颜色从蓝绿色→绿黄色→金黄色→浅黄色→原本色（色心漂白）。这种颜色变化序列可以停止于任何一点，得到任一种颜色。

无色黄玉经γ射线辐照处理后，易诱生黄色不稳定色心和蓝色稳定色心（组合成褐色/棕褐色），经中温加热退火处理后，有助于消除黄色不稳定色心，稳固蓝色色心，并转变为蓝色黄玉（见图4-2-2）。辐照处理蓝黄玉进一步加热（560～580℃），色心漂白至无色黄玉。若采用快中子去处理无色黄玉，可直接诱生稳定的蓝色色心，并形成蓝色黄玉。

热处理的目的是使宝石的颜色稳固化，这主要是通过消除某种不稳定色心，增强另一些色心来改变宝石的颜色。高温退火/固色心/色心漂白的逆过程，使宝石中的某些能垒低且不稳定的色心首先消失，而使另一些稳定的色心得到加强，宝石的颜色也随着加热温度的不同而变化。但温度增加到一定程度时，最终会使宝石的色心全部消失。

五、裂隙充填、熔合充填处理

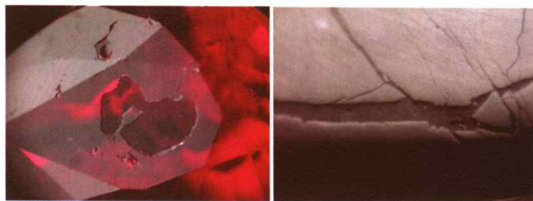
（一）裂隙、孔洞充填处理

采用各种充填材料（有色或无色油、人造树脂、蜡、玻璃等），在一定的条件下（如真空、加压、加热等），对宝石中开放的裂隙、孔洞和玉石中的孔隙、晶粒间隙直接进行充填处理，旨在掩盖裂隙或强化结构。

1. 热充填处理

采用钠铝硅酸盐或铝硅酸盐玻璃等材料，在高温（1400～1600℃）条件下，对天然红宝石原料或戒面的开放裂隙或孔洞进行直接充填处理，旨在填补裂隙、提高净度、增强耐久性。这类充填处理红宝石，次生玻璃体沿红宝石原裂隙面呈不规则细、网脉状连续分布，裂隙面平整，未见熔蚀。该类次生玻璃体以单相态形式存在，偶见气泡。露出红宝石裂隙表面的次生玻璃体光泽相对较弱（玻璃光泽），与红宝石基体相比（强玻璃光泽），二者光泽差异特征

十分明显，在普通宝石显微镜下（顶光照明条件）易于识别（见图4-2-11）。


图4-2-11 充填处理红宝石

近期，国内外珠宝市场上出现一种以高铅玻璃材料为充填物的充填处理红宝石。这类高铅玻璃材料属$PbO-Al_2O_3-SiO_2$体系。其特点是：黏度和软化温度偏低，具良好的流动性、较强的浸润能力。经中温加热条件下（600～680℃）充填处理后，可使红宝石中的裂隙或孔洞得以较好的填补和愈合，并能有效地改善红宝石的净度和透明度。

与传统的高温充填处理的红宝石表现特征不同，这类充填处理的红宝石内部通常存在少量晶形发育完好的针状金红石、磷灰石等结晶矿物包体。由于高铅玻璃体折射率值（1.75）接近红宝石，故玻璃充填物表面光泽与红宝石十分接近。即便在宝石显微镜下，玻璃充填物与红宝石裂隙面之间的接触界线有时也不易观察。因而，这类充填处理的红宝石无论在外观特征还是在内部特征上都易与未处理的天然红宝石相混。镜下观察，多数样品沿原裂隙处出现特征的蓝色闪光效应（注意少部分样品无此现象），沿原裂隙处呈面状分布的气泡群和空隙，局部残存的次生玻璃体。利用X射线光谱仪可快速检测其内含高浓度的Pb元素。

2. 真空、加压充填处理

对一些净度低（P级）且开放裂隙发育的钻石，多以低温高铅玻璃为充填材料，在真空和中低温条件下直接进行充填处理，使裂隙得到较好的掩盖，净度得到一定的改善（净度可能提高一到二级别）。由于高铅玻璃带明显黄色调，经充填后可能会导致钻石的色级降低。在不同的照明方式下转动这类充填处理钻石，沿原裂隙处可呈现特征的异常闪光效应。即在暗域照明下为紫红色、橙黄色闪光；在亮域照明下为蓝绿色闪光。钻石的裂隙充填处理的耐久性较差，一般性的加热、酸或超声波清洗时均可将其破坏。

早期裂隙发育的祖母绿主要采用注无色油的方法进行充填处理，但耐久性差。近年来，人们普遍采用人造树脂（opticon resin），在真空、加压、低温加热条件下对裂隙发育的祖母绿进行充填处理，充填处理后祖母绿的耐久性得到显著提高。

以$H_3PO_4/HNO_3/H_2O_2$混合液为漂白剂，NaOH为渣化剂，环氧树脂为粘合剂，在持续加热（约120℃）和真空、加压条件下对翡翠的片料和坯料进行酸碱蚀与充填处理（俗称白渣化充填处理）。翡翠片和坯料经中强酸和强碱多次浸泡处理后，翡翠的表面和内部结构发生明显的改变，并形成特征的酸碱蚀碎粒结构。而后注入的环氧树脂实际上起到了增固增透的双重作用，经酸碱蚀充填及热固化处理后，翡翠的净度和透明度得到显著的改善（俗称“B货翡翠”）。必须强调，酸碱蚀充填处理翡翠与漂白处理翡翠属于两个截然不同的基本概念。两者间最大的差别在于，酸碱蚀充填处理翡翠的内部结构和透明度发生了“质变”，其次是翡翠内部物质成分发生明显的带入和带出（即Fe、Mn氧化物或氢氧化物带出，高分子聚合物或有机蜡带入），后者则反之亦然（见图4-2-12）。

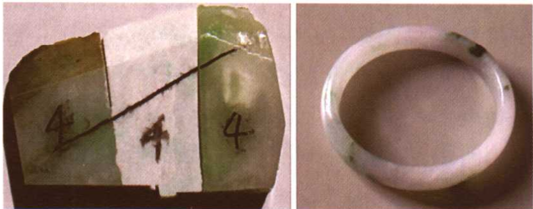


图4-2-12 充填处理翡翠

一种称之为“泡松”的绿松石品种，其结构疏松，孔隙度大且稳定性差。在真空、加压条件下注入人造树脂，经热固化处理后能有效地改善这类绿松石的耐久性及颜色。

（二）熔合充填处理

基于缅甸 Mong Hsu 红宝石中裂理、微裂隙十分发育，在热处理过程中普遍填入诸如硼酸钠（硼砂）及多聚磷酸盐等具弱助熔性的化学涂填物。高温条件下，填入的硼酸钠、多聚磷酸盐类涂填物呈流体状沿红宝石原裂隙处渗入并沿原裂隙面两侧发生局部熔合，形成一种多成分混合的次生熔融体。随温度的下降，这种混合熔融体随之发生分离重结晶，其中一部分重结晶为再生红宝石，但更多的往往来不及重结晶，而形成明亮透明的次生玻璃体，最终使红宝石裂隙得到了程度不同的修复、填补和愈合。沿红宝石原裂隙面呈面状分布的次生玻璃体，其外观特征与助熔剂法合成红宝石中所含的助熔剂羽状体、熔滴极为相似，有时两者不易区分。

六、激光处理

内含深色包体的钻石通过激光打孔处理可以减少深色包体的视觉影响，使之易于销售。在处理过程中，用激光束钻一个直径小于 0.02mm 的细小孔道洞直达深色包裹体处，激光束可以烧蚀包体，或用氢氟酸腐蚀并除去包体，激光孔道可用铅玻璃或人造树脂充填。激光处理方法较稳定，一般不会影响钻石的色级。

另一种新型的激光处理方法是“KM”处理技术，详见钻石一节。

七、染色处理

染色是一项古老的优化处理技术，主要选用一些不易褪色的无机和有机染料，在低温加热条件下对某些无色单晶宝石（需经淬火处理）和多晶质宝石、隐晶质宝石进行浸染处理，使之着色。

染色处理的耐久性在较大程度上取决于所选用的染色剂和染色处理方法（温度、时间、压力、浓度、pH 值、固色剂等）及待染色宝玉石的性质。一般而言，使用天然有机染色剂则稳定性较差，经过一段时间往往易褪色或变色，而使用诸如苯胺类等人造有机染料或加入金属盐则相对较稳定。一些化学性质相对稳定的无机染色剂，如铬盐、硫氰化钾、铁盐、镍盐、钴盐、铜盐等常被用于宝玉石的染色处理中。

玉髓和玛瑙属一种常见的隐晶—微晶质玉石，各种染色处理方法均适用，且具良好的耐久性。例如，选用硝酸亚铁为染色剂，低温加热制成饱和溶液。将灰白色玉髓或玛瑙浸入其中，经保温浸泡数星期后，取出洗净干燥。再次浸入碘化钾固色剂的饱和溶液中，低温浸泡一星期后取出，在100～120℃温度下烘烤数小时后，渗入玉髓或玛瑙内的亚铁离子转变为三价铁离子（$Fe^{2+} - e \rightarrow Fe^{3+}$），转变成红色玉髓或玛瑙；若选用重铬酸钾为染色剂，铵盐为固色剂，经浸泡和低温烘烤后，灰白色玉髓或玛瑙转变为绿色。

翡翠主要由硬玉矿物集合体组成，粒间孔隙及微裂隙发育。采用有机染料（如某种苯胺染料）和无机染料（铬酸盐、硝酸亚铁盐、锰盐）的饱和溶液浸泡白色翡翠，可染成绿色、黄色、褐红色及紫色（见图 4-2-13）。

近半个世纪以来，以单一的硝酸银加稀释氨水溶液浸泡杂色珍珠，经光照还原后染成灰黑色、浅灰色的处理方法被广泛采用。近年来，在原有硝酸银溶液加稀释氨水溶液的基础上，添加少量的苯胺染料或试剂，可将劣色珠染成灰蓝色、孔雀绿色、古铜色、蓝绿色。采用各色苯胺染料、有机染料及某些无机盐类，可将劣色珠染成金黄色、粉红色及紫红色（见图 4-2-14）。


图 4-2-13 染色处理翡翠


图 4-2-14 染色处理珍珠

基于欧泊内部SiO_2球间孔隙发育这一特性，采用糖酸浸染、硝酸银加稀释氨水溶液、黑色苯胺染料和有机染料，可将白欧泊染成黑欧泊。

染色处理方法目前已广泛应用于其他各种宝石材料，包括珊瑚（白色染粉红、红色）、绿松石（浅蓝色染蓝色）、石英岩（白色染绿色仿翡翠）、刚玉（灰白色染红色或蓝色）、青金石（不均匀浅蓝色染均匀蓝色）、羟硅硼钙石和菱镁矿（灰白染蓝色仿绿松石）等。

八、涂覆、镀膜处理

涂覆、镀膜属一种表面处理方法，其主要特点是采用一些无色或有色人造树脂材料均匀地附着在宝石戒面的表面，以期改变或改善宝石的视觉颜色及表面光洁度，或掩盖宝石的表面缺陷（坑、裂、擦痕等），具有一定的欺骗性。

（一）涂覆处理

把一些类似涂料和一些有色人造树脂材料均匀地涂在宝石表面，以增强宝石表面的光洁度或改变颜色。如浅色绿柱石和祖母绿戒面的亭部常被涂上一层绿色人造树脂膜，以改善其外观色，使其更像优质祖母绿；一些光泽较差的珍珠表面常被覆上一层二甲基硅氧烷膜，可明显改善其表面视觉光洁度；灰白色翡翠表面覆上一层绿色人造树脂薄膜，以仿高档绿色翡翠。

（二）镀膜处理

采用沉淀、溅射、喷镀技术，以期改变或改善宝石的视觉颜色或增强表面光洁度。如色级偏低的微黄色钻石戒面的亭部被覆上一层类似照相机镜头表面的蓝色薄膜，通过增加其补色，以抵消黄色调；在宝石表面喷镀金属膜，可产生虹彩效应，近年来市场上出现的所谓虹彩黄玉、晕彩石英、晕彩贝珠多为这类处理方法所致。

第五篇　宝石加工与玉石的加工

第一章　宝 石 加 工

宝石加工是指将宝石材料加工成宝石成品的工艺过程。一块精美的宝石原石，只有经过匠心独运的构思设计，再通过宝石切磨师的精雕细琢，才能成为一件完美的工艺品或宝石成品。

根据宝石加工的工艺原理、工艺条件，宝石加工工艺通常分为两大类别：钻石加工工艺和彩色宝石加工工艺。其中彩色宝石加工工艺中的弧面型和珠型宝石工艺也适用于某些玉石（如翡翠、东陵石、绿松石、青金石、虎睛石等）和有机宝石（如琥珀、珊瑚、玳瑁等）材料的加工。

第一节　钻石加工工艺

钻石加工最早始于印度，大约在14世纪传入欧洲的威尼斯、布鲁日、佛兰德、巴黎和安特卫普等地。后两个城市从15世纪开始在长达两个世纪的时间里，成为国际钻石加工的中心，是国际市场上切磨钻石的主要供应者。17世纪以后阿姆斯特丹取代了巴黎，至19世纪末甚至超过安特卫普，取得了全球钻石加工行业的主导地位。第二次世界大战之后，阿姆斯特丹开始衰落，逐渐形成了后来的安特卫普、特拉维夫、纽约、孟买世界四大各具特色的加工中心（见表5-1-1）。近几年泰国奋起直追，有成为世界第五大钻石加工中心的趋势。

表5-1-1　世界四大钻石加工中心特点

国　别	加工中心	特　　点
美　国	纽　约	主要加工优质大钻石
比利时	安特卫普	加工的品种规格齐全，包括双晶和特小钻石
以色列	特拉维夫	加工1～2ct为主，以异形钻加工见长，重视技术进步
印　度	孟　买	有千年加工历史，主要加工小钻

一、钻石的琢型

钻石的琢型是指钻石被切磨加工成的形状，通常分为两大类：圆钻和异形钻（圆钻以外其他所有形状的钻石）。

（一）圆钻

1. 标准圆钻型

标准圆钻型各种比例名称见图5-1-1。

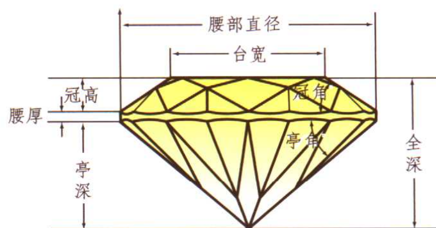


图5-1-1　标准圆钻型各种比例名称

第一个提出现代圆钻琢磨比例标准参数的是马

歇尔·托尔科夫斯基（1899～1991年），时值1919年。按照托氏的设计，设腰棱直径为100%，则台面大小为53%。全高为60%～61%（其中腰棱厚度0.7%～1.7%，冠部角度16.2%，底部深度43.1%），冠角为34° 30′，底角为40° 45′。按照上述参数加工出来的圆钻，称为托尔科夫斯基标准工。在美国，一直把它作为理想工的标准，GIA至今还是把它作为评价钻石切工比例的标准尺度。

托氏当年设计标准参数时的指导思想是力求使钻石的“火彩”达到最大，同时还具有很强的亮度。钻石的亮度主要来源于反射光和折射光这两种光线。实践证明，照在钻石上的入射光线一部分会从钻石表面反射回去，另一部分则会透过钻石表面折射到钻石内部；入射角越小，反射光也越少，折射光却越多，反之，入射角越大，反射光也越多，折射光却越少（见图5-1-2）。

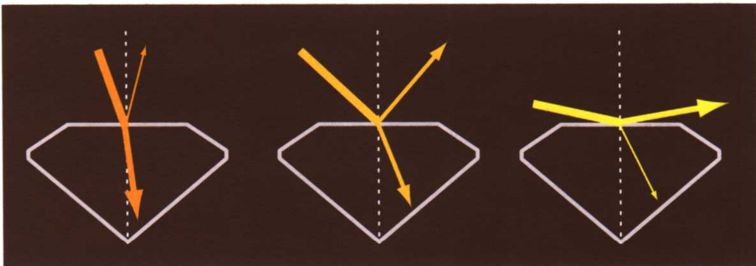


图5-1-2 入射角大小同反射光、折射光多少的关系

反射光以静和动两种不同的方式在钻石表面形成反光和闪烁光（即钻石转动或光源晃动时钻石表面或明或暗的闪光）。反射光和闪烁光的多少主要取决于钻石外露表面面积的大小（即：钻石小面数目的多少、大小及其排列匀称与否）。

折射光与钻石的比例密切相关，这是因为大部分从成品钻石冠部进入钻石内部的光线，在钻石亭部发生两次反射之后，又从冠部最大限度地透射出来。托尔科夫斯基经过反复计算，找到了一个理想的比例（见表5-1-2），其中实现全内反射最关键的一个比例就是亭角的角度40° 45′。圆钻如此，异形钻纵向的剖面图底角也应该是40° 45′左右。亭角太大或太小，换句话说，亭部太深或太浅，都会影响经过全内反射之后再从冠部溢出的光的总量，即影响钻石的“火彩”（见图5-1-3）。

表5-1-2 圆钻主要品种各种比例比较

品名 / 比例	托尔科夫斯基标准工（1919）	理想工（1926）	实用好工（1939）	帕克工（1951）	Scan D.N 标准工（1969）	奥伊利茨工（1972）
冠部比	16.2	19.2	14.4	10.5	14.6	14.45
腰厚比	0.7～1.7					1.50
亭深比	43.1	40.0	43.2	43.4	43.1	43.15
台宽比	53.0	56.1	56.0	55.9	57.5	56.50
冠　角	34.5°	38.7°	33.2°	25.5°	34.5°	33.36°
亭　角	40.75°	41.1°	40.8°	40.9°	40.75°	40.48°
冠部同底部的比率	1∶2.66	1∶2.07	1∶3.00	1∶4.13	1∶2.95	1∶3.00

此外，从冠部溢出的光实际通过的是两个不同的途径：一部分从台面溢出，另一部分从冠

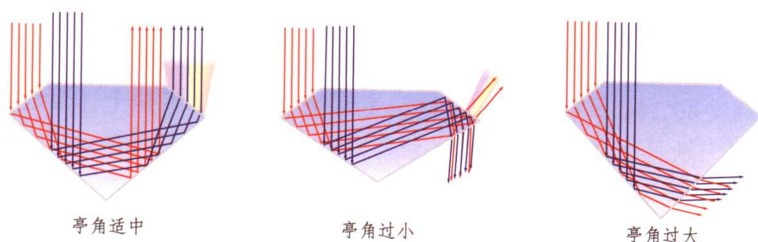


图 5-1-3　亭角大小对钻石"火彩"的影响

部的刻面（即冠部主刻面、星刻面和上腰面）溢出。从台面入射又从台面溢出的光是不发生色散效应的纯全内反射光，而钻石冠部的刻面实际上相当于棱镜的作用，从冠部刻面溢出的光线将发生色散。这两部分给人感觉不同的光线的相对主次关系，就取决于台面的大小和冠部的厚薄（冠角的大小），如图 5-1-4 所示，左图：台面过大，导致亮度大而"火彩"不足；右图：台面过小，导致"火彩"强而亮度不足；中图：台宽比适中，保证"火彩"和亮度的均衡。

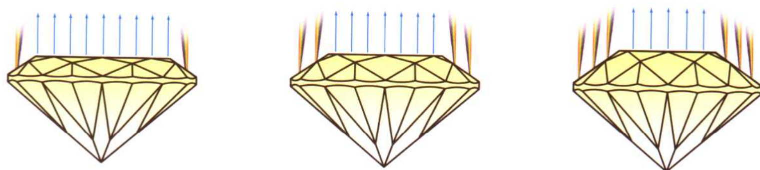


图 5-1-4　台面大小和冠角大小对钻石"火彩"的影响

从目前国际钻石行业的情况看，美国 GIA 是以托尔科夫斯基标准工为标准，欧洲多半是以 Scan D N 标准工为标准。

2. 其他圆钻型

（1）瑞士工

一般适合于成品重 0.03～0.05ct 的钻石。上下共 34 个刻面：正八边形台面 1 个，冠部小面 16 个，底小面 1 个，底部小面 16 个，其中三角形小面占多数（见图 5-1-5(a)）。

（2）高亮工

其明显不同于标准圆钻的地方在于：两个主面之间的腰小面（包括冠腰小面和底腰小面）不是两个，而是三个，从而在标准圆钻的 58 个小面数目上增加了 16 个，总共有 74 个小面（见图 5-1-5(b)）。

（3）王牌工

由纽约"王牌钻石大师"公司研制。它的特点在于台面不是八边形，而是正十二边形，从而使冠主面和底主面的数目相应地增加到各 12 个，同时使冠腰小面和底腰小面的数目相应地增加到各 24 个，总共 86 个小面。其他特点还有：台面小于 50%，星小面比冠腰小面高，底腰小面只为底主面的一半左右（见图 5-1-5(c)）。

（4）马格纳工

它以正十边形的台面为特点，并且将冠主面一分为二，将冠腰小面和底腰小面一分为三，使小面总数达到 102 个，即台面 1 个（正十边形），星小面 10 个，冠主面 20 个，冠腰小面 30 个，底主面 10 个，底腰小面 30 个，底尖 1 个（见图 5-1-5(d)）。

（5）美国圆钻

被认为是最早的圆钻，19 世纪中叶盛行于英国。其冠小面的排列已经接近现代标准圆钻，惟其全高几乎与腰棱直径相等（现代标准工仅为 60%），出成率虽高，但火彩不好。此外，其

台面小，约为腰棱直径的三分之一，而底尖面反而较大。近八边形台面的任一边同邻接的星小面和冠主面的棱线接近成一直线（见图 5-1-5(e)）。

（6）葡萄牙工

一种台面呈正十六边形，冠底部各 5 层，每层 16 个小面，加上底尖，合计 162 小面的放射型圆钻。主要适用于大钻石（见图 5-1-5(f)）。

（7）公主 144 工

这种磨工是在马格纳工、王牌工和高亮工的基础上综合开发出来的。它同标准圆钻显著不同的是：把每一段与 16 个冠腰小面对应的腰棱都磨成了三个小棱面，在腰棱和底腰小面之间增加了一圈 16 个三角形的小面和一圈 16 个菱形的小面，从而使钻石的“火彩”更加强烈生动，这一点在钻石转动的时候尤其明显（见图 5-1-5(g)）。

值得指出的是，下文还会提到一种正方或长方形的公主工，通常是 57 个小面，偶尔也有 144 个小面的，莫把它们与“公主 144”工混淆。

（8）螺旋工

台面为正十二边形，冠部的小面有 5 层，底部有 8 层，以台面和底尖为中心呈螺旋状排列（图 5-1-5(h)）。

（9）帝王工

帝王工是近年由香港裕福集团（国际）有限公司研制的，其特点是以标准圆钻型为基础，将标准圆钻型的星刻面、上下腰面均做了两分割，并在腰部切出了 96 个面，这样构成了 194 个面。帝王工即使在光线弱的地方，其外周部分也能闪烁出光辉（图 5-1-5(i)）。

（10）“八箭八心”工

属于标准圆钻型的变体，近年来较为流行。其特点是对称性很强，切磨角度略有变化，比例不在理想范围内（见图 5-1-5(j)）。

（11）单翻圆钻

常见于分钻的切磨，冠部仅有一个台面和八个主面，亭部只有八个面，共 17 个面（见图 5-1-5(k)）。

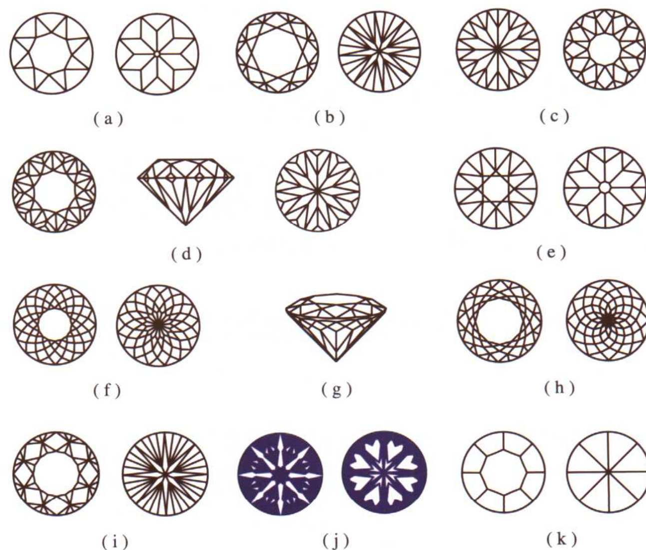


图 5-1-5 不同的圆钻型切工

（二）异形钻

1. 常见异形钻

常见的异形钻主要有七种：马眼钻 、心形钻、梨形钻、椭圆钻、祖母绿钻、长方钻和公主型钻（见图5-1-6）。

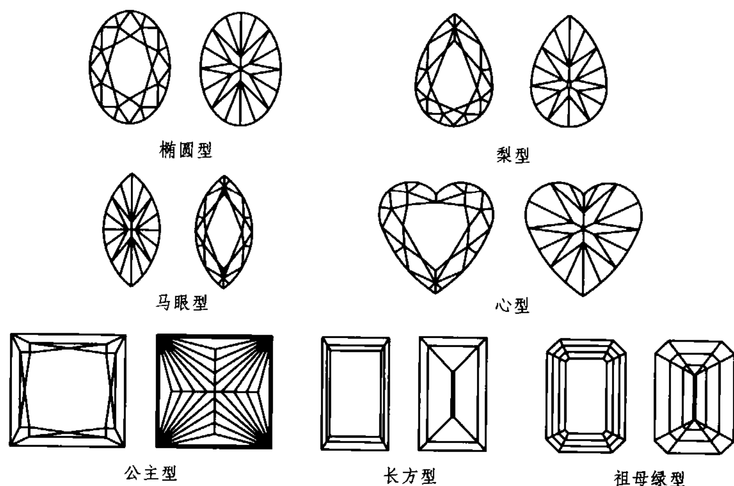


图5-1-6 常见异形钻品种

（1）马眼钻

马眼钻也称“橄榄钻”、“船形钻”，在现代钻石磨工中素有“琢形王后”之称。

马眼钻的长与宽的比，以1.75：1～2.25：1为最好，2.25：1～2.50：1次之，大于2.50：1或小于1.50：1则较差。

（2）梨形钻

梨形钻，又称泪滴钻。梨形钻的长宽比，最好是1.50：1～1.75：1，1.75:1～2.00：1或者1.50：1～1.25：1亦可，大于2.00：1或小于1.25：1则较差。

（3）心形钻

心形钻是一种将圆钻和梨形钻的加工工艺相结合的放射型琢形，为古代印度工匠所发明。三角形薄片双晶原石最适宜做心形钻，出成率因石而异。

心形钻的特点：① 不算心顶的缺刻，底尖应位于几何中心处；② 冠主面倾角为33°～34°；③ 心肩部的底主面的倾角应为41°，腹部的倾角应稍大，约为42°；④ 长宽必须基本相等；⑤ 完工之后，腰棱一般都磨成了一连串的小腰棱面。

（4）椭圆钻

椭圆钻有标准型和瘦长型两类。标准型的长宽比为1.3：1～1.5：1；瘦长型的长宽比为1.5：1～2.0：1。

（5）祖母绿型钻

祖母绿型切工是一种倒角的多边形阶梯型切工，通常为长方形，其小面的层数标准的是上下各三层，也有各两层和各四层的。祖母绿型钻是仅次于圆钻的最流行的切工和琢形，被誉为现代异形钻群体中的“灰姑娘”。

祖母绿型钻的长宽比根据原石大小为1.1：1～1.50：1不等。

(6) 长方钻

长方钻通常是长方形，其长宽比值往往比祖母绿型磨工大。因为切磨长方钻侧重于考虑保重，所以它们腰棱形状和各种比例都可以有不同寻常的伸缩度：有的可以很长很薄，有的也可以很短，长宽比接近正方形，两条短边也可以不一，从而形成一个带点锥度的等腰梯形。

长方钻被列入常见异形钻，主要是因为它被广泛地应用于首饰的群镶，所以一般尺寸都不大。

(7) 公主型

腰棱一般为正方形或长方形，冠部小面呈放射状，底部小面呈山峰形，通常有57个小面，偶尔小面数也可以多达144个。注意不要与“公主144”工钻混淆。另外，齿形工也曾一度称为“公主工”，注意区别。

2. 少见异形钻

少见的异形钻品种很多，可归纳为三大类型、12个系列：

放射型 玫瑰系列、鞍垫系列、“贵妇人”系列、星形系列

阶梯型 台面系列、多边形系列

混合型 拜丽思系列、绚烂系列、公主系列、齿形系列、“五朵金花”系列、任意形系列。

(1) 玫瑰系列

玫瑰工起源于400多年前的印度，世界名钻中的“莫卧儿大帝”、“奥尔洛夫”和“光之山”都是玫瑰工。

玫瑰工是现代放射型磨工的始祖，一般都采用平底，不磨小面，冠部是圆拱形，其拱高低不一，但均磨有小面。所用的原石大多数较薄，加工时但求保重，不太讲究比例，故不太“出火”。

玫瑰工的种类繁多，主要品种见图5-1-7。

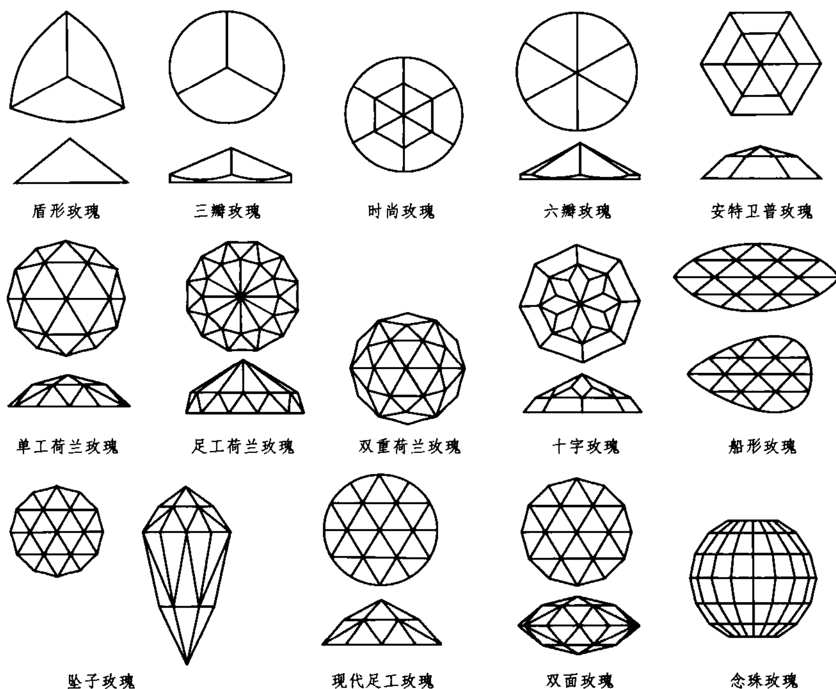


图5-1-7 玫瑰工的不同种类

(2) 鞍垫系列

古鞍垫形钻石呈圆角的长方或正方形，且四边稍微向外凸出。现代的鞍垫钻除保留以上风格外，冠部瓣面排列接近标准圆钻，底部差异较大（见图5-1-8）。

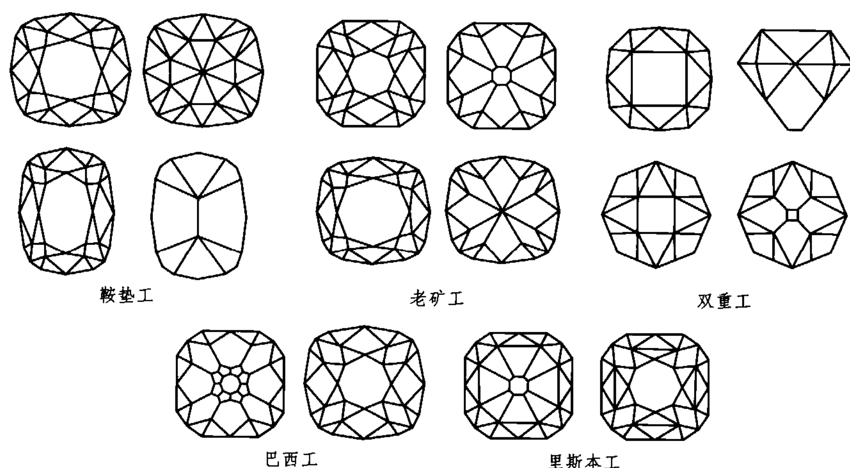


图5-1-8 鞍垫系列

(3) 贵妇人系列（见图5-1-9）

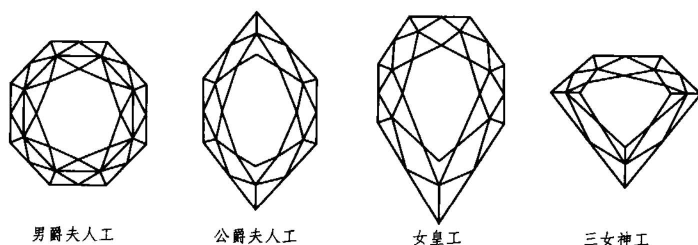


图5-1-9 贵妇人系列

(4) 半边系列（见图5-1-10）

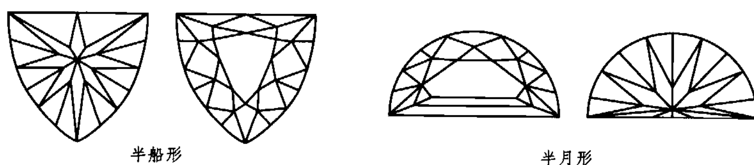


图5-1-10 半边系列

(5) 星形系列（见图5-1-11）

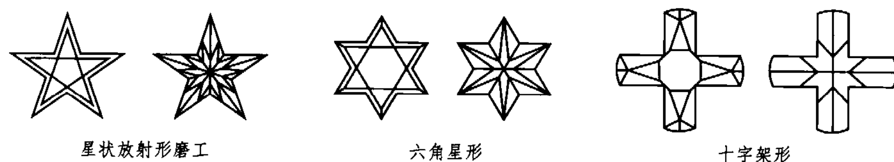


图5-1-11 星形系列

（6）台面系列

台面工是一种最古老的磨工，只在正八面体原石上稍加修饰而成。从晶顶开面磨出一个较大台面和一个较小的底尖面，再把各个晶面抛光即可（见图 5-1-12）。

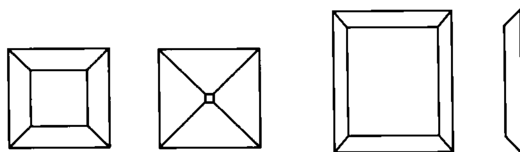


图 5-1-12 台面系列

（7）多边形系列

同属阶梯型磨工，但腰棱外廓形状各异，见图 5-1-13。

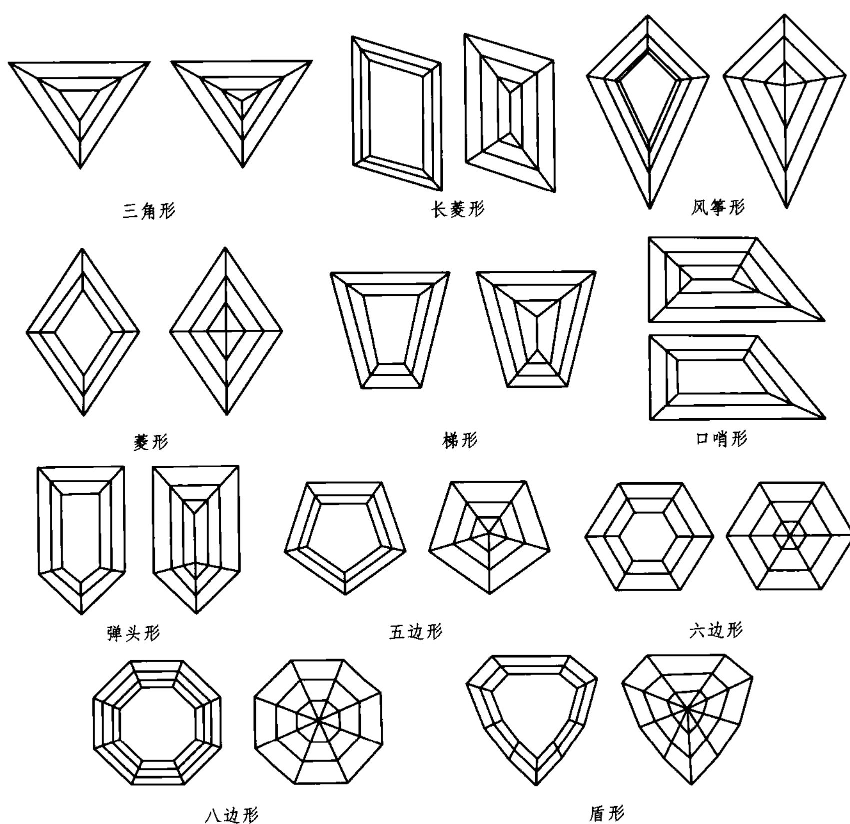


图 5-1-13 多边形系列

（8）拜丽恩系列

1970 年 10 月由南非磨钻大师巴兹尔 · 沃特梅耶先生创制，他用自己姓名的第一个字母“B”置换了其妻姓名 Marian 中的第一个字母“M”，以表示他们之间爱情的结晶。

拜丽恩工冠部采用阶梯型磨工，底部采用放射型磨工，旨在提高出成率和增加光彩。四方形的拜丽恩工钻石有 62 个小面，祖母绿型的有 70 个小面（见图 5-1-14）。

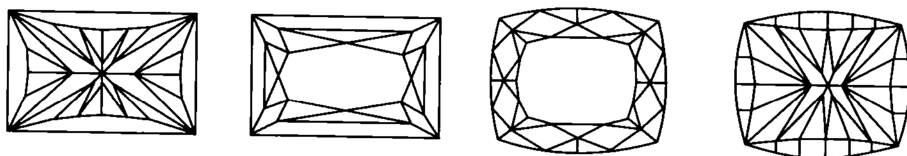


图 5-1-14 拜丽恩系列

（9）齿形系列（Profile cut）

齿形工是一位名叫阿帕德·雷吉的人1961年在伦敦首先创制的，旧称“公主工”。它采用一般不为首饰行业所用的薄片状原胚制作，底部做成一排挨一排的41° 的“V”形槽，腰棱形状则可以随意“裁剪”，拼出各种美丽的图案来（见图5-1-15）。“灵活有余，而火彩不足。”

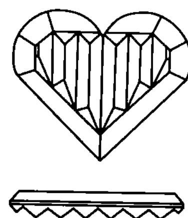


图 5-1-15 齿形系列

（10）“五朵金花”系列

1988 年由钻石中央统售组织（CSO）顾问盖比·托尔科夫斯基创制，共五款，均以花名命名。主要针对低色级、晶形欠佳的原石设计（见图 5-1-16）。

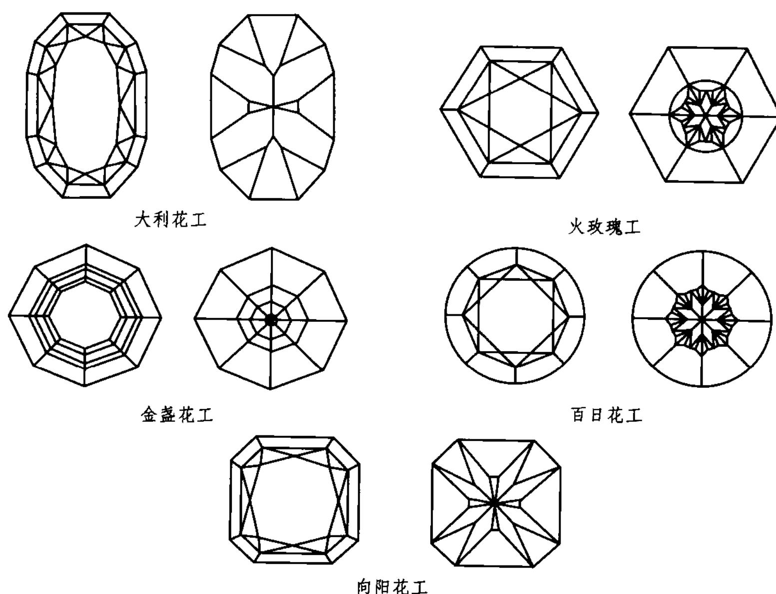


图 5-1-16 “五朵金花”系列

（11）象形系列

这个系列的磨工主要根据原石腰的形状，因材制宜地琢磨出马头形、蝴蝶形、花朵形、鱼形等形状，小面的排列自然无规则可循（见图 5-1-17）。

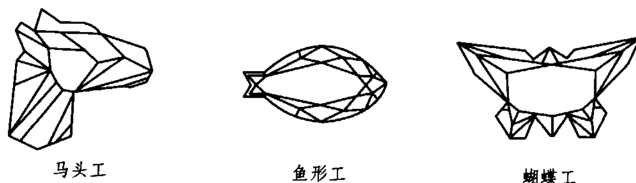


图 5-1-17 象形系列

二、钻石加工工艺流程

钻石加工通常包括设计、劈、锯、车、磨五道工序。

放射型的异形钻除了腰棱的加工工艺和小面的摆布稍微不同之外，其工艺流程整体上接近圆钻。阶梯型的异形钻的腰棱不用车钻机加工，一律靠磨，其工艺流程和使用的器具与圆钻差异很大。可见并不是每一颗钻石从原坯到成品都必须经过设计、劈、锯、车、磨五大工序，但无论何种磨工和琢形的钻石，设计和磨钻这两道工序则是必不可少的。

（一）设计标线

设计标线是钻石加工最基础的一道工序。优秀的钻石设计师，至少应该具备以下一些素质和技能：

1）对钻石的主要特性，尤其像晶形、晶体结构、解理、内应力（异常双折射现象）、包体、硬度各向异性等与加工工艺密切相关的那些特性，必须了如指掌。

2）熟悉钻石加工的整个工艺流程、各道具体工序和本厂工人的技术水平，采取合理的设计选择。

3）熟悉市场行情，能在市场需求、出成率、风险程度、卖价、资金周转速度等诸多关系整体效益的因素之间权衡利弊，找出平衡点，做出最佳方案。

设计人员常备的工具有：电子秤、卡尺量规、10倍放大镜（最好能有台式放大镜）、计算器、钻石灯、钻石原石筛、偏光镜、显微镜、纸包、标线笔和油性墨水等。设计的步骤如下。

1. 原石分选

根据原石的大小、颜色、净度、晶形四个方面进行分选。从设计的角度观察原石，主要考虑晶形和净度两个方面的因素。

1）晶形　CSO习惯上把原石的晶形分为六类，即规则晶形（Stones）、变形晶形（Shapes）、劈理晶形（Cleavages）、双晶（Macles）、薄片（Flats）和六面体形（Cubes）等。规则晶形是指晶形完好、没有或几乎没有形变的八面体和十二面体，加工工艺上就叫可锯钻（Sawable）；变形晶体指的是沿二次对称轴方向加长、沿三次对称轴方向加长或变扁，即明显变形的完整晶体，加工工艺上叫颗粒钻（Makeable，Wholoestone）；劈理晶形指严重残缺的晶体或残片。客观地说，这几类晶形之间的区分并没有严整划一的尺度，在一定程度上要凭经验来判断。

2）净度　如果说晶形主要影响出成率的话，净度则直接影响到成品钻石的价值。从设计的角度看原石，应先搞清内含物的种类、大小、数目、位置、对比度；其次确认通过加工可以去掉的瑕疵；再次，对于去不掉或去不干净的瑕疵要尽可能把它们安置在不显眼、不反射的位置。碰到表面磨砂发毛和有“壳”的原石可在适当的部位磨一磨，行话叫“开窗”，透过这扇“窗户”再去看个究竟。有时瑕疵的深浅不能一目了然，可以借助显微镜测距。办法是在同一放大倍率下，转动聚焦旋钮，找到纵深两点间的实际距离与旋纽转过的刻度之间的对应关系；然后把钻石固定在载物台上，先把焦点聚在晶体表面上，再逐步地把焦距拉伸到内含物上，记下聚焦旋钮转过的刻度，即可推算出内含物距晶体表面的实际距离，以判断能否在加工过程中把它们去掉。

2. 设计原则

钻石设计的原则主要有保重原则、求净原则、适销原则和省工原则。

1）保重原则　目的在于提高原石的利用率，既要保证本道工序的原料损耗最少，又要使下一道工序不受影响，所有工序都要最大限度地保留成品钻石的重量，即争取最好的出成率，这就是保重原则。但同时要注意净度和切工，片面保重忽视净度和切工反而往往使其总体价值降低。

2）求净原则　钻石是天然矿物，真正纯净无瑕的极少。设计人员应拿出一个切实可行的方案，将瑕疵在加工过程中去掉。比如把石墨包体设计在贴近锯切面、劈理面的位置，以利于在磨制过程中把它们去掉。确实难以去除，也要将瑕疵设计放在不太显眼、不发生镜像反射的地方，将瑕疵对净度等级的影响降低到最小。保重和求净往往不能同时兼顾，这时设计人员就必须反复权衡，以经济效益为尺度，做出有利的选择。

3）适销原则　钻石设计成什么磨工和琢型，在保重和求净两者之间如何取舍，都必须从本身的客观实际出发，使产品适销对路，加快资金的周转。

4）省工原则　钻石加工历来就有劳动密集型产业之说。从原石到成品，劳动消耗量非同寻常。在保重、求净、适销的大前提下，在选择台面、编排加工工艺的时候，适当兼顾一下省工的原则也不失为提高经济效益的一个方面。比如在一块钻石原石用锯和劈两种加工工艺都可以达到预期效果时，应首先考虑用劈的加工工艺，因为劈钻的工效比锯钻高，这样可以节省工时。钻石的硬度有各向异性的特点，不同的晶面做台面，磨的时候会有难易程度的差异。因此如果几种方案都能取得同样的结果，那么应首先用立方体晶面做台面（四向纹），十二面体晶面（两向纹）次之，不得已才考虑八面体晶面（三向纹）。

本着以上原则，从每一颗原石的具体情形出发，确定对每一颗原石应采用的磨工、琢型。

3. 设计标线

1）劈钻标线　劈钻的方向一定要沿解理面方向，即平行于八面体晶面的方向。接触双晶原则上要求从双晶结合缝处下刀。标线时可标出劈开面的一边或两边，开口点用墨团标明，点在晶棱上（见图5-1-18）。

2）锯钻标线　锯钻时有两种选择，一是沿立方体晶面方向锯，二是沿十二面体晶面方向锯（见图5-1-19）。最常用的是沿立方体晶面方向锯，因为沿十二面体晶面锯的出成率往往不理想。锯切面必须与四次对称轴垂直，倾斜度以15° 为极限。大于15° 基本上锯不开。线标定之后，也用墨团点出开口点。

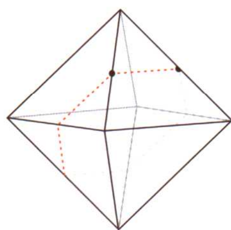
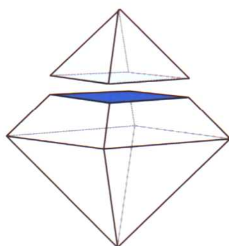


图5-1-18　劈钻标线



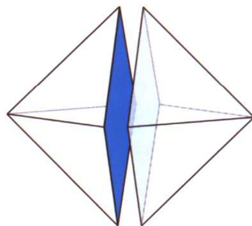


图5-1-19　钻石锯开方向

3）成形钻标线　成形钻不用劈和锯，一颗就做一颗，故又叫颗粒钻。一般只用墨团标出底尖的位置，也有用圆圈中间再加打叉（×）同时标出台面位置的。碰到要“开窗”进行观察的原石，设计人员也是用墨团点出开窗的部位。

4. 分包

一般每个包有1粒、3粒、5粒直到10粒不等，视钻石大小而定。分包的原则可以是下述各项中的一项或几项。

1）大小　按大小相等或相近的原则分包。

2）后续工序种类　不属同一个后续工序的石头不能放在一包。

3）形状　按预计的出成率来分包。

4）纹向　按研磨方向（四向纹、三向纹和两向纹）来分包。

5）工艺要求　相同相近的分成一包。

6）荧光特征　荧光色及其强度相同相近的分成一包。

7）净度　净度相近的分成一包。

8）颜色　颜色相近的分成一包。

一般来说，采用的项数越多就越便于监控和管理。而这主要取决于生产的规模和批量的大小。

（二）劈钻

劈钻是一门古老的钻石加工工艺，起源于几个世纪之前的印度。当时流行一种叫尖顶工（Point cut）的钻石磨工，几乎就是八面体原石。当时锯钻工艺尚未问世，印度人采用劈的方法把不规则的原石从四面八方剥“皮”，留下一个规规矩矩的八面体的“核”。而劈下来足够大的石块，还可以做成五花八门的玫瑰工钻，因此劈钻曾经盛极一时。随着放射型圆钻的流行，劈钻工艺丧失了普遍性和通用性，到20世纪70年代利用薄片加工的“锯齿工”出现时又稍微挽回了一些颓势。如今，人们只是在对付晶形极不规则、解理上有严重瑕疵的原石或者接触双晶的时候才用到它。

迄今世上最大的原石、3106ct的库利南钻石和后来的琼克钻石（726ct）的加工，都是先行靠劈钻工艺进行磨制的。此项工序要求劈钻师对钻石的特性，尤其对诸多异常情况要准确判断并谨慎行事。

1. 适宜用劈钻工艺的原石

1）接触双晶，尤其是接合面破损或有隙可乘者。

2）解理面上有明显瑕疵者（大的羽裂或者羽裂连带深色后生包体等）。

3）晶形极不规则，不先劈就无从着手者。

4）劈开后的形状同锯钻相比，出成率更高、效益更好者。

5）劈钻后的非主体部分尚有其他利用价值者。

2. 劈钻的主要设备

劈钻的主要设备：劈钻工作台，上面有劈钻盒；工作台内缘用木隔板固定一块插劈钻杆的铅砧；劈钻杆一套，规格从直径10mm～40mm，每杆递增5mm；劈钻钢刀一组，大中小俱全；木柄圆锤一个；煤气（丁烷或天然气）喷灯一盏；劈钻胶若干。

3. 劈钻的操作程序

1）确定劈开面之后，把钻坯粘牢在劈钻杆头上，开槽的面向上，并使劈线与劈钻杆中轴18°～20°倾角，同时把开槽的钻石刻刀粘牢。

2）左手执钻坯夹杆，右手执刻刀夹杆，用手指钩住钻盒两边的立销，让刻刀在钻坯开槽标线上来回蹭，刻出一条槽。目前这道工序在有的工厂已用激光来完成。

3）选择厚度适宜的劈刀，使其刃口没入刻槽之中。注意：刻刀刃口直钝不宜尖，不能让

它接触槽底，让刻刀两侧抵在刻槽两壁上。

4）扶正劈刀，用木柄圆锤轻击刀臂，劈开钻石。

5）用喷灯加热劈钻胶使之软化，取出钻坯，清洗干净，检查工作质量。

一颗钻石可能不止劈一次，可按照上述程序反复操作进行。

（三）锯钻

锯钻的实际运用，可追溯到17世纪。当时锯钻的工具是一根绷紧拉直的细铁丝，抹上钻石微粉，与现今掏空用的木工钢丝锯相似。410ct的“摄政王”钻石，足足用了一年时间才锯开。由此可知其劳动效率非常低。

目前锯钻的方法主要是机械锯钻，最近兴起的还有激光切割。

现代的机械锯钻机一般是十台一组，安装在铸铁机架或实心水泥机座上。通常一个工人可以照看20台锯机。

单台锯机主要零部件有：铸铁机座、心轴、锯石夹嘴、夹臂、重力臂、进给配重球、调节螺杆、橡皮垫块及微型电机。常备的低质易耗品有：磷铜锯片、锯石胶、钻石微粉、石墨轴垫等。

磷铜锯片的直径、厚度可视心轴法兰盘的直径和钻石制品的大小而选定。各国的习惯不尽一致。

钻石设计标好锯切线之后，便可发送到锯钻工序，进行粘钻、装机、开口、锯切、清洗、质检等程序。

1. 粘钻

把锯钻胶填进锯钻夹嘴，注意适量，把钻石摁入其中，注意使锯切线与夹嘴唇口平行（或者说是与夹嘴中轴垂直）且伸出唇口一点，清除多余的粘胶，勿使粘胶妨碍锯片的旋进。把粘好的钻石插进蜂窝状夹嘴盒，移入干燥箱干燥后，再仔细检查钻石与夹嘴的相对位置是否改变。

2. 装钻

把检查好的钻石夹嘴装入夹臂，使锯片对准锯切线，从正面看呈一条直线，从上朝下看，锯切线必须同锯片正好在同一平面，不允许错位。总之，从锯片上方压在锯片上的钻石必须精确定位，并且必须随时检查锯路正不正，防止锯偏。国外给钻坯定位时有采用X射线法、测角器观测法、平行光管观测法等，但大多数工厂还是采用目测法，靠操作工人的责任感、眼力和经验来确保精确定位。

3. 开口

开口用的锯片一般比正式锯钻的锯片厚0.05～0.10mm。开口深度以1～1.5mm为宜。

开口位置的选定和开口的质量直接关系到整个锯钻工序的质量和成败。所谓开口位置的选定，实质上就是如何处置钻石各种内含物和结构特征的问题。

如果原石有一条蚀沟，那么就从离蚀沟最近的那个晶顶开口；如果两个相邻的晶顶附近各有一条蚀沟，则从靠近深蚀沟的晶顶开口；如果两条蚀沟分别靠近相对的两个晶顶，则从靠近深蚀沟的晶顶开口；蚀沟在晶棱中段者可从它连接的两个晶顶中任意选定一个开口。

有一个负晶顶的原石就从负晶顶开口；如果有几个负晶顶就从发育最充分、最深的那个开口。

开口时勿使锯片通过玫瑰花瓣形的石墨包体。含橄榄石包体的钻石应从包体长度方向一致的地方开口。

有裂纹的原石应从裂纹最多或裂纹发育最深的那个晶顶开口。

4. 锯钻

口子开好之后，更换薄1～2号的锯片正式开始锯钻。锯片直径的选择，以伸距稍大于钻石直径为准，伸距太长锯片受压弯曲，锯切面将呈凹凸状；伸距太短则锯不开。锯片最佳转速为2800r/min。锯钻的工效主要取决于钻石微粉的粒度、浓度及施压的大小。为此，在整个锯钻过程中，每间隔2～3min就得用小滚轮把用橄榄油调和的钻粉往锯片上抹。同时旋出调节螺杆，尽可能保证钻坯对锯片的施压为最大。但到锯钻接近尾声时，必须适当减少施压，避免钻石在锯开之前就崩开而留下未锯完的墩子，影响锯钻质量和后续工序的出成率。

锯钻和单人单班工效因石头大小和锯片厚度不同而不同。

5. 清洗

锯钻清洗一般用洗发香波兑水摇洗，再用清水冲洗、干燥。

6. 质检

其实锯钻的检验在清洗之前就应该进行一次，目的主要是检查锯路是否遵从了设计标线。清洗以后，主要是检查锯切面的质量。以下几种情形为不合格：

1）深锯齿痕　若不太深、对后续工序的出成率影响不大，可勉强通过（图5-1-20(a)）。

2）锯切面凸凹不平　主要是锯片伸距太大，被钻石压弯而又未及时纠正所致（图5-1-24(b)）。

3）锯切面倾斜　因锯片走偏而未及时纠正所致，但设计斜锯者除外（图5-1-20(c)）。

4）锯切面梯坎　一般是一刀切不开、迎面又锯时锯路对不准造成的，梯坎越高情况越糟，因为磨台面的损耗越大（图5-1-20(d)）。

5）墩子　是锯钻进程接近尾声时未及时减少锯片施压钻石崩裂造成的，弄不好锯掉的一半还会“飞”掉（图5-1- 20(e)）。

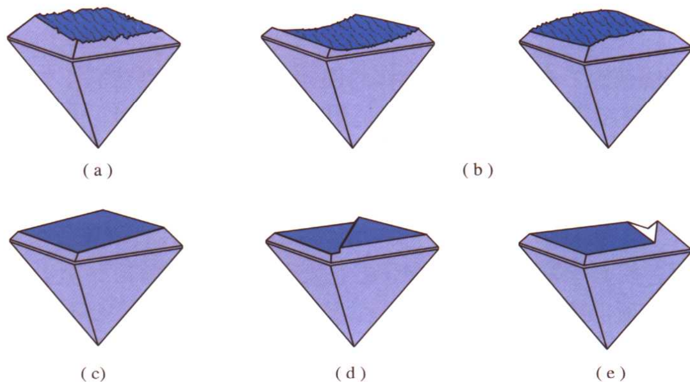


图5-1-20 质检的各种情况

(a) 深锯齿痕；(b) 凹锯面和凸锯面；(c) 斜锯面；(d) 锯面有梯坎；(e) 墩子

（四）车钻

车钻的工作对象是钻石腰棱，目的是赋予它以未来成品钻琢型的优美曲线（圆形、双弧形、弯弓形等）。阶梯型的磨工腰棱呈直线，一部分混合型的磨工（如拜丽恩磨工等）的腰棱也是直线，打磨它们的时候用不着车钻这道工序。

1. 车钻的设备

最早打磨腰棱全靠手工，如今电动车钻机已经非常普遍。在此简单介绍几种最新的加工设备。

1）全自动车钻机　这种机器除了装石之外，其余的事都由车钻机完成。与通常的车钻机不同的是：双头车钻机两根心轴的转向完全相反，两颗钻石同样既为工具（车刀），又为工件（被加工件）。两颗钻石互相刮擦的情况由摄像头放大再现在观监屏幕上，便于操作工掌握进度。

2）激光车钻设备　其原理同激光打孔、激光切割相似。激光加工造成的表面微裂和较高的成本费用，是其不足之处。

3）车钻机　这种机器在国内普遍使用，有单头和双头两种：单头机用胶粘在制品（工件）上，双头机则靠左边的夹嘴和右边的顶针配合来夹持钻石。

以双头机为例介绍一下车钻机的结构：一个整体浇铸的机座，左边装有制动轮和浮游卡盘，右边是顶针座和弹力顶针，中间是车刀架和残渣收集盒，有的还配备有吸尘器。安装在机台底下的电动机通过分配轴和两条同步皮带带动双轴同步旋转。

与车钻机配套使用的主要工具是车钻棒。主要辅助工具有各种规格的车钻夹嘴，一个木榔头，若干作为车刀用的有棱有角的钻坯或人造聚晶颗粒。像牙医工具那样靠转轴驱动的旋转车钻棒被越来越多地采用。除了工效提高以外，它加工出来的腰棱质量也好。

2. 车钻的步骤

1）仔细观察钻坯　主要看尖正不正、高度够不够，有无瑕疵和瑕疵的确切方位，以决定部分或全部去掉的方案，决定是粘还是夹。

2）固定钻坯　办法有两种，一种是粘，一种是夹（见图 5-1-21）。

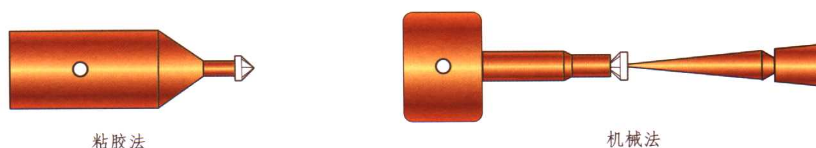


图 5-1-21 固定钻坯的两种方法

两种办法各有优缺点。夹的优点是操作简便，工效较高，更适宜正尖、无瑕的坯料；而粘的方法多了一道粘的工序，比较费事，但适用于几乎所有的坯料，尤其是夹有所不能的歪尖、无尖、有裂、有瑕的坯料，其车裂钻坯的概率较小，安全系数较大。

粘：先加热铜头，抹上专用粘胶剂，把钻坯轻轻地摁在粘胶剂上，粘牢，再加热 30 分钟左右，使粘胶剂硬化，复查钻坯是否移位。加工好之后再加热使钻坯与粘胶剂分离。

夹：选择夹嘴，使其承窝与底尖相配，把它安装在车钻机前顶底座上，左手执钻石，底尖向左，右手扳动后顶针座顶住钻石台面。注意顶压的力度：太小夹不住钻石，太大会把钻石夹坏。

固定钻石车刀的办法也是粘和夹两种。已锯钻（Sawn）、圆粒金刚石（Boart）或人工聚晶颗粒都可以充当车刀。

3）钻坯定中　即令钻坯的转动轴与可能获得最大直径的成品钻的中轴重合。定中精确与否，在很大程度上就决定了车钻工序的最终结果：出成率、该去的瑕疵是否已经去掉或下道工序有无把握去掉。

4）粗车　粗车的目标是将钻坯突出的部分（如晶顶等）打磨掉。注意进刀量不宜太大太猛，并要反复多次补充定中。

5）精车　预期目的是使在制品的直径圆度和腰箍预留高度均达到工艺要求。

6）光边　对腰棱进行最后修葺。有三条途径可供选择：

第一种途径是仍旧在车钻机进行，把车刀换成已锯钻的锋刃，轻触在制品。这样加工的

腰棱较粗糙，表面呈灰白色，鉴定证书上注明为“打磨腰棱”（Bruted girdle）。

第二种途径是采用专用的光边机。这种机器比车钻机小巧，原理相近，只是做工具用的已不是手执的车刀，而是一个在一定振幅内前后振摆的高速旋转的钻石微粉抛光轮。按照烧结在轮边上的钻石微粉的目数，它有很细、细、中等和粗之分。光边机加工的腰棱鉴定证书上注明为“抛光腰棱”（Polished girdle）。它们表面光亮而且透明，几何形状规整。

第三条途径是在磨钻机上进行。对中、小钻而言，这必须是在成品完成以后，腰棱上发现有缺口、过大的原晶面等严重影响正圆度的问题才采用的补救办法。只有大钻和巨钻，才会有意识地把腰棱修饰成一连串的小面。在鉴定证书上，这样处理过的腰棱注明“小面腰棱”（Faceted girdle）。

以上三种光边的办法仅适用于圆钻，均不适用于阶梯型磨工。对于腰棱呈曲线的异形钻，如心形、马眼、梨形、椭圆之类，只考虑有“打磨腰棱”和“小面腰棱”两种可能，暂时还没有一种安装钻石磨轮的机器，能够胜任它们那种不同曲率、比例伸缩性又很大的腰棱。

7）质检　对车好的圆钻在制品的工艺要求是：① 制品俯视图必须正圆。容许误差只能是1.1%～1.5%。② 制品腰距高度最小值不小于直径的12.5%，即要能容纳下成品钻的整个冠部和腰棱。③ 制品高度与直径之比不小于60%且不大于80%。④ 制品底部倾角应不小于45%且不大于56%。⑤ 腰箍表面必须光滑，无崩缺、无凹陷，无露面的瑕疵，无微裂，粗糙度不明显，呈暗灰白色。

台面不得倾斜，底尖要正。

（五）磨钻

1. 磨钻机理

磨钻过程是一个热学作用和力学作用兼而有之的理化过程，即一方面钻石与磨盘摩擦生热，导致钻石表层石墨化，另一方面钻石在钻石微粉的碰撞冲击下一点一点地剥落。磨钻的效率取决于磨盘的磨削性能及其转速、钻石微粉的目数和密度、钻石对磨盘施加的压力，以及钻石在磨盘上的取向，即台面的选定和机头的朝向。

2. 研磨方向

钻石加工行内的习惯叫法有：四尖石（Four points）、两尖石（Two points）和三尖石（Three Points），或者四向纹、两向纹和三向纹。其实质就是钻石硬度的各向异性，同一颗钻石不同的晶面硬度会有差异，同一个晶面不同的方向上的硬度也会有差异。磨钻时发生的所谓“纹向”的问题，就与钻石硬度的各向异性有关。

用立方体晶面方向做台面方向的钻石是四尖石，用菱形十二面体晶面方向做台面方向的钻石是两尖石，用八面体晶面方向做台面方向的钻石是三尖石。换句话说，就一个八面体而言，从晶顶开面（开始磨台面）的是四尖石，从晶棱开面的是两尖石，从晶面开面的是三尖石（见图5-1-22）。

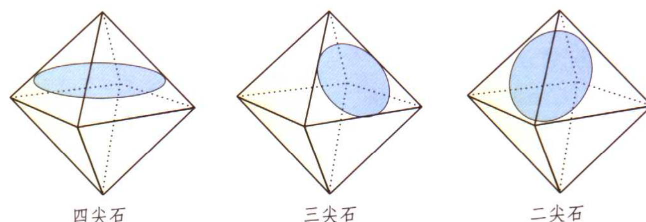


图5-1-22 钻石台面的选取方向

这些表述法都是以未来成品钻台面的选定为着眼点的。理论和实践证明：四向纹相对硬度最小，两向纹居中，三向纹最大，其相对硬度之比约为1∶1.414∶2.308。所以设计师在选择台面时，也应该参照这个比率，在同质等大的前提下，设计成四向纹是上策，两向纹是中策，三向纹是下策。

台面选定了，纹向就确定了。而对于同一种纹向的钻石，还有进一步的硬度各向异性的问题。一般地说，四尖石有四组平行于立方体晶棱的纹向硬度相对较小，同时有四组沿四边形对角线方向的纹向硬度相对较大；两尖石有两组平行于菱形短对角线方向的纹向硬度相对较小，同时有两组沿长对角线方向的纹向硬度相对较大；三尖石有三组平行于三角形之高的纹向硬度相对较小，同时有三组平行于三角形三条边的纹向硬度相对较大。磨钻的时候，只有当研磨方向与硬度相对较小的纹向大体一致时，研磨面才会是锃亮的镜面。

台面和纹向确定之后，磨钻师就在既定的纹向下，找到硬度相对较小的方向，按照规定的比例把石头磨好。在理想的情况下，最佳研磨方向的确认本来是有章可循的，但自然界中理想的规则的晶体很少见，这就使得问题复杂化。

当然，钻石相对硬度的大小，还有可能受其他因素的影响，比如结构现象（双晶缝、生长线等）、应力状态、内含物乃至荧光颜色等。

3. 磨钻设备和磨钻步骤

（1）磨钻设备

磨钻工的主要工具是：磨床、磨钻夹具、10×放大镜、腰棱划线器，钻石微粉、橄榄轴等。

磨床要强调三点：

1）修整好的磨盘必须达到大面积平整和微观不平度的统一，保持动态平衡。磨盘工作面修整平以后，用粗砂轮或砂条划上双弧线或抛物线的划痕，以便嵌入钻石微粉。最后还要在调平衡机上用配重法作好动平衡测试。

2）用适量的橄榄油（有时为桃油或其他植物油）拌上钻石微粉，用泡沫塑料块均匀地涂抹在磨盘工作面上，开动磨床，用大钻石来回蹭轧，使钻粉与磨盘比较牢固地粘合，以提高磨具磨料的工作效率和延长其使用寿命。

3）磨盘的使用，应强调明确分区。一般把靠近转轴的内圈作为试磨区，把磨盘边缘线速度最大的外圈作为研磨区，而把内、外圈之间的中圈部分作为抛光区（见图5-1-23）。

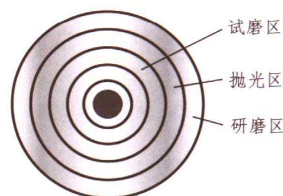


图5-1-23 磨盘工作面的区域划分

早先的磨钻夹具用锡头来固定钻石。现代的夹具采用带分度尺、角度板和微调旋钮的机头，此夹具又叫磨手、机械手。用于磨台面的叫台面夹具，用于磨底小面的叫底小面夹具，用于磨冠小面的叫冠小面夹具，等等。

（2）磨钻步骤

磨钻是占据钻石加工工艺流程整个工作量50%～60%的一道主要工序。

西方国家传统的做法是分两步走：

第一步："磨十字"（Cross），即磨台面、底四面、冠四面。

第二步："添光加彩"（Brilliantering），即磨底八、底腰小面、冠八、冠腰小面、星小面。

在这种情况下，磨底和磨冠是交替进行的。也有先磨底再磨冠的，或者反过来。前者一般适用于小钻，后者一般适用于中、大钻。国内一般小型的钻石厂，大都采取这种做法。

最细致的做法可以分成八道工序：台面→底四→冠四→底八→冠八→底腰小面→冠腰小

面→星小面（见图5-1-24）。具体怎么做，依习惯而定。但专业化分工、流水作业无疑是发展趋势。生产规模则是一个重要的制约因素。

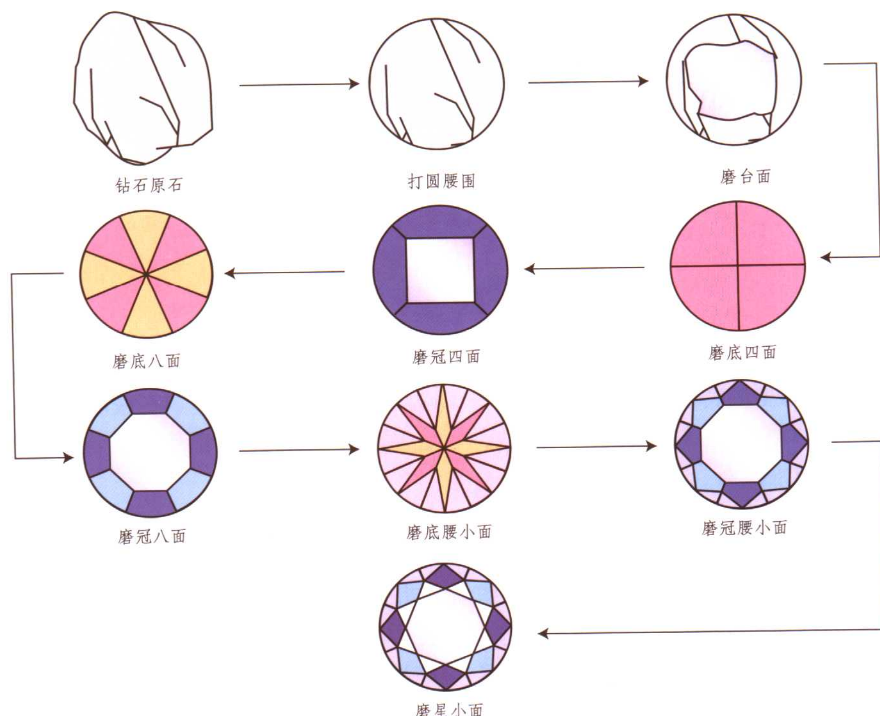


图5-1-24 钻石加工工序

（六）清洗和检验分级

钻石磨成之后的清洗是成品分级前最后一道工序。将1000mL浓硫酸掺100g硝酸钾配成溶液，注入盛有适量钻石的瓷盘或烧杯，煮沸几分钟，冷却后用蒸馏水或开水冲洗几遍，滤干，然后送检并分级。

第二节　彩色宝石加工工艺

彩色宝石种类繁多，其加工款式也多种多样。根据当今彩色宝石款式的外部特征可划分为四大类，即：弧面型、刻面型、珠型和异型。

一、弧面型宝石的加工

弧面型又称素面型或凸面型，也有人称腰圆。它的特点是宝石至少有一个弯曲面，适于玉石或部分单晶宝石特别是具有特殊光学效应的宝石的加工。

（一）弧面型宝石的琢型

弧面型宝石琢型可按腰形和截面形状进行分类。

1. 根据腰形分类

有圆形、椭圆形、橄榄形、心形、矩形、方形、八角形、垫形、垂体形和随意形（见图5-1-25）。

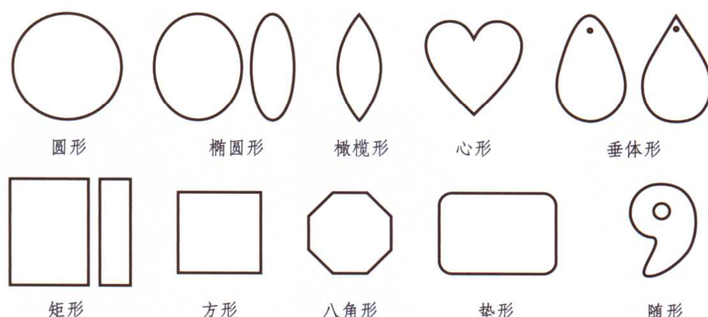


图 5-1-25 弧面型宝石的腰形

2. 根据截面形状分类

有单凸面琢型、双凸面琢型、扁豆琢型、空心凸面琢型和凹面琢型（见图 5-1-26）。

1）单凸面琢型的特点是一端为凸面，一端为平面。适用于各种宝石戒面。

2）双凸面琢型的特点为两端都为凸面，但上凸面比下凸面高，适用于有特殊光学效应的宝石戒面，如猫眼宝石、星光宝石、月光石等。

3）扁豆琢型的特点为两端都为凸面，上下凸面的弧度一样高。欧泊石多采用这种琢型。

4）空心凸面琢型的特点为在单凸面琢型的基础上，从底部向上挖一个凹面。适用于颜色深、透明度差的宝石。这样可改善颜色、增加透明度。翡翠多用这种琢型。

5）凹面琢型的特点为在单凸面琢型的基础上，从顶部向下挖一个凹面。这样可在凹面中再镶一颗较贵重的宝石。如在黑色玉髓上镶一颗钻石等。

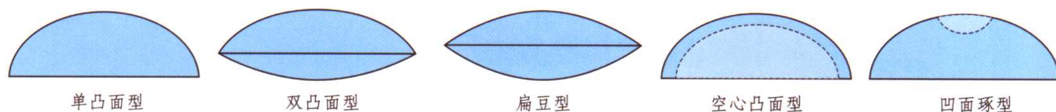


图 5-1-26 弧面型宝石的截面形状

（二）弧面型宝石的设计和定位

弧面型款式通常适用于下列情况：

1）当透明宝石含有过多的杂质，因而刻面型不能发挥其优势时　如红宝石、蓝宝石、祖母绿等。

2）所有不透明和半透明的宝石　如玉石、玛瑙、绿松石和孔雀石等。

3）具有特殊光学效应的宝石　如猫眼宝石、星光红宝石和蓝宝石、欧泊、拉长石等。

1. 弧面型宝石的设计

宝石的设计步骤就是宝石审查和选定设计方案的过程。一块原石拿来后，首先要对它进行审查，尽量从原石外皮分析到里面的颜色、透明度、有无特殊光学效应，过程如下：

（1）原石定名

宝石工匠都清楚的一点是加工已知宝石要比未知宝石心中有数。

（2）了解宝石的外部特征

包括形状、重量、宝石原料的颜色，外表有无大的裂隙和包体。

（3）分析原石

通过了解掌握的已知情况，推断出未知情况。如颜色是否均匀，裂有多深，里面的裂纹

有多少，是否存在特殊光学效应等等。

（4）选择设计方案

对于小粒原石，加工设计可直接参照款式设计。对于大块原石，就应选择设计方案，例如对于同一原石有不同设计方案，选用哪种方案，要视其价值的大小而定。

至于原石磨成哪种弧面型，这要视情况而定。一般具猫眼效应的宝石选用高凸面琢型，因为这样更能体现它的猫眼效应，使猫眼变得更细、更亮；欧泊石多采用扁豆型，这与欧泊原石的形状有关；星光红、蓝宝石多采用双凸面琢型，因为这样既可以有效地显示星光效应，又可保重；空心凸面型多用于深红色的铁铝榴石，因为这样可减轻色彩浓度。

2. 弧面型宝石的定位

对于具特殊光学效应的原石还需要进行如下定位。

（1）猫眼效应

任何原石若包体为平行排列的纤维状，均可磨制成猫眼效应的宝石，猫眼效应只有用凸面型才能显示。一般用单凸面琢型，腰形为圆形、椭圆形。其定位比较简单，根据猫眼效应产生的原理，使琢型的底面平行于纤维包体，如果宝石轮廓为椭圆形，则纤维方向垂直于宝石的长轴方向。为了使猫眼效应显得更细更活，可以适当地加大凸面型厚度，使凸面曲率增大，以便反射光集中于一个窄带内，形成清晰明亮、活灵活现的猫眼光带（见图5-1-27(a)）。

（2）星光效应

这是由显微针状、管状包体沿2个或3个方向分布而产生的反射。一般包体沿2个方向排列的可形成4道星光，如星光辉石；包体沿3个方向排列可形成6道星光，如星光蓝宝石。它的定位方法是让底面平行于各方向包体的排列面，即垂直于Z轴（见图5-1-27(b)）。

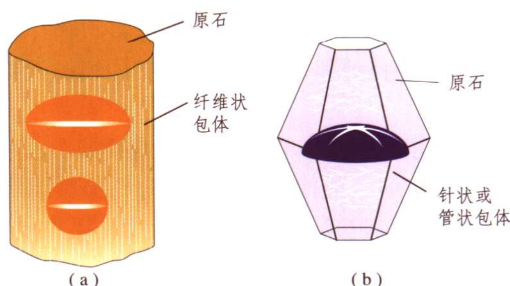


图5-1-27 具特殊光学效应的宝石的定位

（3）月光石月光效应、拉长石晕彩效应、砂金效应

月光石月光效应是由于聚片双晶或不同折光率长石的层状结构而产生光的反射及漫反射的现象；拉长石晕彩效应是由聚片双晶面反射光线而产生的干涉；砂金效应是由微细的片状包体成层分布而产生的反射光。这三种具特殊光学效应的宝石虽然在形成原理上稍有不同，但它们属于层状结构，因此定位时，应将琢型的底面平行于层状结构。

（三）弧面型宝石的加工工艺过程

弧面型宝石材料广泛，一般没有什么特定要求。弧面型宝石的优势在于能充分显示宝石的特殊光学效应（猫眼效应，星光效应），能充分弥补宝石在火彩、透明度和瑕疵等方面的不足。

弧面型宝石材料的种类很多，常用的种类有：翡翠、红宝石、蓝宝石、欧泊、金绿猫眼、石榴石、玛瑙等。

弧面型宝石的加工工艺较简单，分为八道工序：画线、下料、圈形、上杆、预形、细磨、抛光和后期处理。

1. 画线

为了下料准确方便和料尽其用，要对片料进行画线。画线是用画笔在片料上画出弧面型宝石的腰形。画线所用的画笔为带有尖端的黄铜棒或铝棒，长度为10～15cm。

为了准确地按一定规格画出腰形，通常要使用模板。模板通常用硬塑料或金属板制成。模

板上有许多不同尺寸的圆、椭圆、方形的孔（见图5-1-28）。这些孔是按照生产要求设计的，以便于装镶。

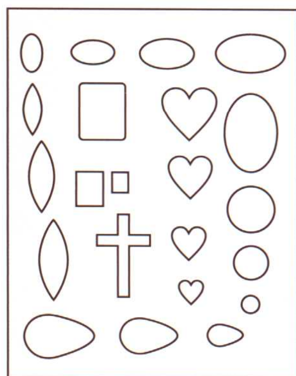


图 5-1-28 模板

在画线的工序里包含着设计的过程。例如在一块有美丽花纹的玛瑙原料上，画线前，如果发现上面有很多细小的微裂纹，则原料就无法利用。如发现有包体、瑕疵或质软的小点，应及时圈出，以免画在弧面型宝石的轮廓内。另外可根据花纹的形状设计出不同腰形的弧面型宝石。

在画线时要注意原料两面的花纹是否一样，即要考虑弧面宝石经磨削成形后，原有花纹的增减或隐没情况。

以上是对低档宝石的大块料进行的工序，如遇到高档宝石的原料或块体较小时，可直接从下道工序着手。

2. 下料

下料的方法就是用锯割。即用修边锯沿所画轮廓线锯割，要留出若干毫米的余量，一般为2～4mm。因为有些玉石性脆，切割时易产生裂纹，若距线太近，裂纹有可能伸入轮廓线内。

切割时所用设备为修边锯，具体操作步骤如下：

1）把载石台清理干净，上面不能有碎石屑，否则进料时易发生倾料，损坏锯片和石料。打开冷却水，冷却锯片，以免原料与锯片在摩擦中温度过高。

2）手持原料，用力均衡地把原料推入锯片，开始进料时速度要慢，以锯片不产生火花为宜。

3）原料进入一段后，要沿直线加快速度，但不要突然用力。如发现进料阻力很大，并有火花迸出时，应按原路返回，分析出原因后再进料。

4）原料快锯完时要放慢速度，以免崩口。

5）反复上述过程，切除多余的棱角，达到如图5-1-29的标准。

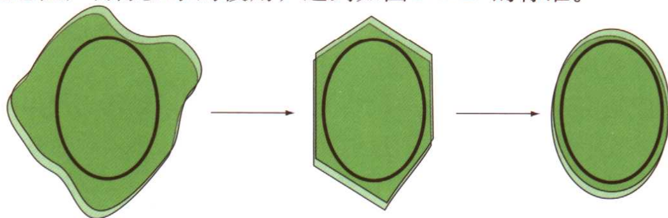


图 5-1-29 下料时毛坯的形状

3. 圈形

下料过程完毕后，得到的是一个大致形似设计要求的毛坯，要得到腰形较好的毛坯需经过圈形工序。圈形就是用砂轮圈出毛坯的腰形。

砂轮的直径一般在250mm以上，所用的磨料为80#～100#的碳化硅。具体操作步骤如下：

1）打开轮磨机和冷却水。

2）毛坯底面朝上，用手捏稳，用力均匀地把毛坯边缘和棱角磨去，所圈形状要平滑、自然呈弧线，与所画轮廓线要等距，留出大约0.5～1mm的余量，所圈腰面要与底面垂直。

3）为了防止底面边缘因尖利而崩口，在圈形完成后，可在底面边缘磨出一小斜面，小斜面与底面的夹角以45°为宜。此时小斜面一边可与所画轮廓线重合，但不要磨去轮廓线（见图5-1-30）。

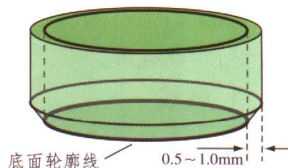


图 5-1-30 毛坯侧视图

4. 上杆

圈形后的毛坯在预形成弧面型前要上杆。上杆是指用胶把毛坯和粘杆粘结在一起。对于经验丰富的宝石工匠可直接手持毛坯进行预形，但对于初学者来说，需要上杆。因为这样既可以避免伤手，又可以固定宝石。

粘结毛坯用的粘杆是用黄铜或铁杆制成的，也可以用硬木料。长度一般为100～150mm左右。粘杆一端为圆形，作粘结端，其直径大小依毛坯大小而定，一般为6.3～12.7mm。胶一般用黑火漆胶或红火漆胶。

具体操作步骤如下：

1）将宝石毛坯和粘杆洗干净。

2）将胶弄成碎片，放入烧杯中，用酒精灯加热至熔融。

3）将粘杆的粘结端浸入熔融的胶中，浸入深度约10mm，稍停取出备用。

4）用镊子夹住毛坯在酒精灯上加热，注意此时毛坯要受热均匀，以免炸裂。对于怕热的宝石可隔石棉网加热。

5）将毛坯底面与带胶的粘杆粘结在一起。在胶未完全硬结时，用手扶正坯料，使毛坯底面垂直粘杆。然后自然冷却。

5. 预形

预形就是用砂轮磨削出造型。通过预形，毛坯基本获得设计中的弧面形状。预形时所用的工具为轮磨机，它有两个碳化硅砂轮：一个为粗砂轮，直径在300～400mm左右，磨料粒度为80#或100#；另一个为细砂轮，直径为200～300mm左右，粒度为180#或220#。不管是哪种砂轮，其目的都在于磨削毛坯的余量，细砂轮还可进一步磨去部分的划痕和微裂纹，从而提高毛坯表面的光滑度。

具体操作步骤如下：

1）打开带有粗砂轮的轮磨机和冷却水。

2）手持粘杆将毛坯顶部磨出一个斜面，斜面的边不要超过底面、小斜面的边（圈形时所磨出的小斜面），最好留有余量。磨斜面时，用力均匀，且不断转动粘杆，使斜面尽量成圆环带，圆环带与垂直面的夹角约为10°～15°。

3）在第一个圆环带磨好后，向顶部方向磨出第二个圆环带，并依次向顶部磨出第三个、第四个圆环带，依此类推，使毛坯的顶面由阶梯状的弧面越来越趋近于较光滑的弧面。

4）换用细砂轮，清洗毛坯，防止较粗的颗粒带到细砂轮上。再次打开冷却水。

5）粗砂轮磨削初步预形后，仍有较明显的小面和划痕，换上细砂轮可进一步提高表面的光滑度。操作步骤同前（见图5-1-31）。

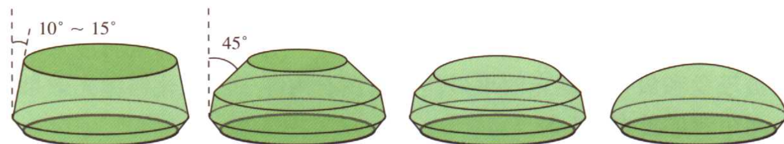


图5-1-31 预形的过程

6. 细磨

细磨的作用是再次提高毛坯弧面的光滑度。就其本质而言与预形中的细砂轮作用是相同的，只是所用设备不同，因此其磨光精度不同。

细磨所用的工具有多种，有轮磨机、带磨机和盘磨机。它们的共同特点是，当受到宝

石毛坯压迫时，会自动产生一个屈服面，将毛坯包住。正是这个屈服面增大了磨机与宝石的接触面积，而且这个屈服面的磨削力远比砂轮的磨削力柔和得多，使宝石毛坯的圆滑度大大提高。

下面分别介绍一下细磨时所用的三种设备。

（1）轮磨机

细磨所用的轮磨机在外形上与砂轮相似。其基体用金属或木轮制作，外圈用橡胶皮套粘结在基体上。橡皮厚约 10～15mm，内含金刚石粉。这种橡皮轮适于磨削像红、蓝宝石这样硬度高的宝石。外圈还可用皮革代替，所用磨料为240#或280#碳化硅。

（2）带磨机

使用带磨机进行细磨，效率很高。将宝石凸面顶在砂带上，砂带产生屈服面，包住宝石，可增大宝石的磨削面积。

（3）盘磨机

盘磨是较常用的细磨方法。其基体多为金属或硬木料制成，盘面微凸，上面粘结一块5～10mm的毛毡或软泡沫塑料，最外层用呢绒布或细帆布，也可用皮带。磨料为220#～280#的碳化硅。

7. 抛光

抛光工序是最见成效的一道工序，抛光以后宝石便可尽展它的光彩。俗话说“十宝九抛”，可见抛光的作用之大。

抛光通常用的工具由木料、塑料、沥青和锡铅合金制成。木盘要在其表面蒙上毛毡、皮革、呢绒、帆布等材料。抛光盘的结构与细盘相似，有凸盘、凹盘，也有平盘。抛光剂一般用钻石粉、红宝石粉、绿粉、玛瑙粉、氧化锡粉等。具体操作步骤如下：

1）清洗宝石坯料和抛光盘。

2）打开抛光机，用刷子在抛光盘上涂一点抛光剂，量一定要少。

3）宝石在抛光过程中，要用力均匀，从坯料的边缘开始，再渐及其顶，使其弧面光滑。任何抛光工具以接近干燥时效果最佳。对翡翠、蔷薇辉石的抛光一定要用力。

4）在抛光过程中，要随时检查进展情况，是否有漏抛现象，是否把划痕抛去，等等。当发现宝石表面有很多小凹坑时，可能原石具有剥蚀性，应立即改用皮革或木质抛光盘，按以上步骤重新抛光。

宝石坯料是否已经抛光到很亮的光泽度，可拿到强光下缓慢转动来观察。如果还看出有擦痕，或者灯泡上的字反映在抛光面上时线条不分明，则说明抛光度不够。对不同性质的宝石抛光，还应选用不同的抛光盘和抛光剂组合。一般对硬度小的宝石，可用毡、皮革等软盘，抛光剂可用氧化铬、氧化铁、玛瑙粉等；对硬度大的宝石，应使用沥青盘或锡铅盘，抛光剂以红宝石粉和钻石粉最佳，其次用氧化铈和氧化铬等。对几种特殊宝石应采取特定的组合。如水晶用有机玻璃盘和氧化铈抛光效果最佳，冰洲石用呢子和氧化铬抛光效果最佳，等等。其他宝石的抛光组合详见表 5-1-3。

8. 后期处理

宝石坯料在抛光后，通常要进行后期处理。具体操作步骤如下：

1）拆胶处理　把宝石和粘杆用酒精灯加热，使胶融化，拧下宝石。

2）清洗处理　把还带有少量胶的宝石和粘杆分别放入酒精中，待胶溶解后，把宝石和粘杆取出，用清水洗净。

表 5-1-3 常见宝石所使用的抛光盘和抛光剂

宝石名称	摩氏硬度	抛光难易度	抛　光　盘	抛　光　剂
红、蓝宝石	9	难	铝合金盘 合金盘 锡盘 带凹槽的木盘	钻石粉 钻石粉 钻石粉、火油 钻石粉
金绿宝石	8～8.5	易	锡合金盘或锌合金盘	钻石粉
黄　玉	8	易	锡铅合金盘	氧化铝或钻石粉
尖晶石	8	难	锡铅合金盘 铝合金盘	钻石粉 钻石粉
祖母绿	7.5～8	易	锡铅合金盘 皮革盘 毛呢盘	钻石粉或刚玉粉 刚玉粉 氧化铈
石榴石	7～8	易	锡铅合金盘 皮盘或毛呢盘	刚玉粉或钻石粉 刚玉粉或氧化铬
碧　玺	7～8	易	锡铅合金盘	刚玉粉或钻石粉
水　晶	7	易	铅合金盘 有机玻璃盘 皮盘或毛呢盘	氧化铈或氧化铬 氧化铈或氧化铬 刚玉粉或氧化铬
翡　翠	6.5～7	难	硬毡盘或软木盘	钻石粉或刚玉粉
软　玉	6～6.5	难	皮革盘 毡盘	刚玉粉、氧化铬 氧化铬
长石类	6～6.5	易	有机玻璃盘 铅合金盘 皮革盘	刚玉粉或氧化铈 氧化铬 刚玉粉
橄榄石	6.5～7	易	铅合金盘	钻石粉
欧　泊	5～6	易	有机玻璃盘 毛呢或皮盘	氧化铬或氧化铈 氧化铬
绿松石	5～6	易	毛呢盘或软毡盘	玛瑙粉
青金石	5～6	易	皮革盘	刚玉粉、氧化铬或氧化铈
蛇纹石	2.5～6	易	木盘 毡盘	氧化铬或玛瑙粉 氧化铬
孔雀石	3.5～4	易	毛呢盘	玛瑙粉
萤　石	4	易	毛呢盘	氧化铈
珊　瑚	3～4	易	布盘	氧化铝、氧化铁或硅藻粉
琥　珀	2～2.5	易	毛呢盘	氧化铬、氧化铝或硅藻土

3）底面处理　用 220# 的细砂纸或平砂盘，把底面磨平，磨削量要少，以不磨掉底面的

小斜面为宜。若宝石的透明度很好，还需把底面抛光。若不透明，则不必抛光。

4）清洗、上蜡处理　底面处理后的宝石清洗、晾干后，要上蜡，从而填补微裂纹，增加宝石的光洁度。

至此，弧面型宝石的加工完毕。

二、刻面型宝石的加工

刻面型又称棱面型、翻光面型和小面型。它的特点是宝石由许许多多具一定几何形状的小面组成，形成一个规则的立体图案。

（一）刻面型宝石的琢型

刻面型宝石的琢型很多，其中最基本的有圆多面型、玫瑰型、阶梯型和混合型四大类。根据这四大基本琢型演化出的款式有上百种之多。由于这四类基本琢型是借鉴钻石的琢型而来的，与钻石的琢型完全相同，仅根据宝石的品种不同在加工过程中其角度有所变化而已，因此刻面型宝石的琢型参阅本章第一节中钻石的琢型即可。

需要说明的是：

1）玫瑰型琢型虽然有着优美的几何形状，但对于宝石的火彩和亮度都不利，因此现已少用，只偶见于小颗粒的扁平形钻石、锆石和石榴石切磨中。

2）阶梯型琢型中的祖母绿型主要用于祖母绿的切磨，也适合于所有透明的宝石，尤其是颜色美的有色宝石。在这种琢型中小面的数目和阶梯数并不是最重要的，因为颜色美放在了首要位置，而火彩则居于次要位置。所以除了用于钻石加工的阶梯型琢型，要求有严格的刻面大小、比例、冠角和亭角大小外，一般宝石的台面较大，冠部较薄，亭部较厚。

3）混合型琢型可使宝石的火彩、颜色和重量达到最佳效果，但由于加工复杂，不利于大批量生产，因此只局限于高档宝石的设计与琢磨。常见的款式是冠部为圆多面型、亭部为阶梯型。

4）近年来市场上流行的彩色宝石“千禧工”（图 5-1-32(a)）和“格仔工”（图 5-1-32(b)），也是由四大基本琢型演化而来的。它们在加工设备和比例上有所变化，款式较为新颖。其中“千禧工”的每个面是内凹的，具聚光作用，增强了宝石表面的明亮程度；“格仔工”有单面和双面之分，每个面为方形或菱形，简洁明快，富于现代气息。

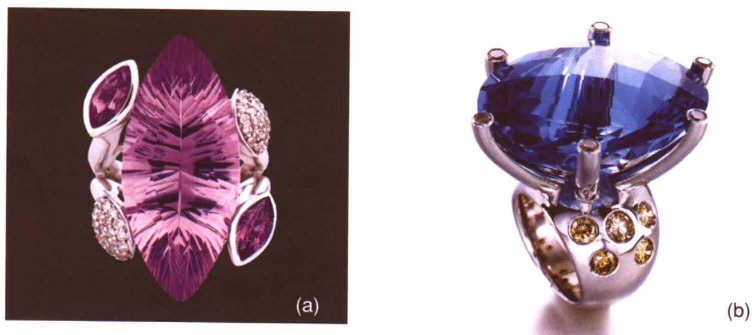


图 5-1-32　千禧工首饰(a)与格仔工首饰(b)

（二）刻面型宝石的设计

刻面型适用于所有无色和有色的透明宝石。刻面型宝石的设计与弧面型宝石的设计一样，

需要完成对原石定名、了解宝石的内外部特征、分析原石和选择设计方案等步骤。针对具体刻面型宝石的设计可主要从颜色、重量、瑕疵和比例四个方面着手进行。

1. 颜色的设计

宝石的颜色与厚度和粒度有关，因此在设计中可将色浅的原石设计为厚度大的琢型，如海蓝宝石多设计成祖母绿型，以增强色度。同样，将色深的原石设计为厚度小的琢型，如山东蓝宝石，若设计为阶梯式方片（冠部为祖母绿式，底为平面），则厚度较薄，色度就可以减弱。

另外，使用改进型的款式也可改善宝石的颜色。对于颜色较浅、折射率又低的宝石，如浅色的黄玉、水晶等，多选用垂直分主小面的改良圆钻型款式，利用亭部更多的小面同时反光来增强其光泽效果。对于色浅的紫晶、茶晶等，除选用阶梯型款式外，还可选用水平分主面的改良圆钻型款式或选用杂石型款式以增加宝石高度来达到加深颜色的效果(见图5-1-33)。对于深色宝石，如暗红色石榴石、山东蓝宝石等，选用圆钻型的改进型（即亭部高度适当减小)，让其漏光以降低宝石颜色的浓度，从而使宝石颜色得以改善。

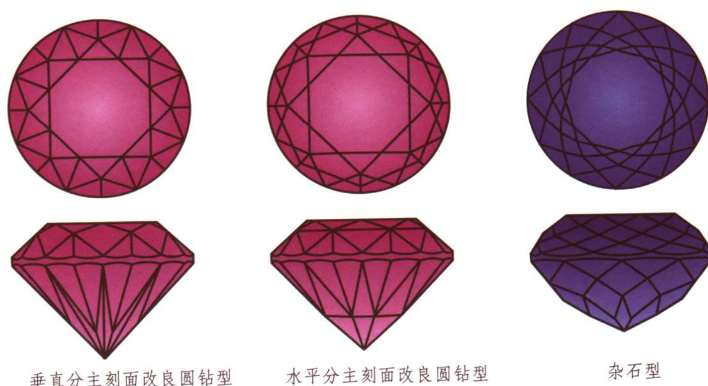


图5-1-33 颜色设计过程中的琢型处理

2. 重量的设计

从原材料上切磨宝石，材料损失很大，如钻石，损失重量常在50%以上。有资料表明，山东蓝宝石的出成率仅为30%左右。重量的损失直接关系到商品的价值。因此，在体现宝石整体美的情况下，保重已成为宝石工匠的一个重要课题。

重量包括两方面含义，即单粒宝石的成品尽可能大和一块原料经加工后总出成率要高。以哪个为主要视具体情况而定。

对于低档宝石，一般以出成率为主。因为这时宝石的价格与重量成正比，而在原料加工过程中出成率越高则价格越高。对于高档宝石，单粒宝石的价格更大些。因为这类宝石的价格与重量不是成简单的正比关系，有时成指数关系，至于大的名贵宝石品种价格更是不可估量。

增加单粒宝石的重量有以下四种方法：

(1) 增加腰部直径

(2) 增加腰部厚度

(3) 增加亭部深度

(4) 改进原有宝石的款式

前三种方法如图 5-1-34 所示。第四种方法常为改宝石的台面平面为弧面，接受光线多，使宝石显得明亮，如“千禧工”和“格仔工”，但这类磨工的损耗较大，成本较高。

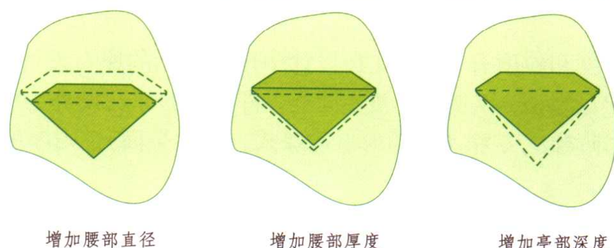


图 5-1-34 增加宝石重量的三种途径

3. 瑕疵和包体的设计

瑕疵、包体是影响宝石净度的主要因素。在宝石加工过程中，对包体和内部瑕疵要考虑六个因素：大小、数量、位置、颜色、轮廓和透明度。

在对瑕疵和包体的设计中，我们应采取以下措施：

1）对有颜色的包体和大的裂隙应在原石切割时去掉，方法是沿裂隙面将原石剖开。

2）在原石设计时，尽量了解瑕疵和包体的位置，并标记。

3）本着先去除大的瑕疵或包体、再去小的原则，对有隐患的裂隙，宁可减少款式尺寸，也要去除。

4）对实在无法去除的瑕疵或包体应尽量把它设计到不影响宝石美观的位置上，即在腰部附近不显眼的地方（见图 5-1-35）。这里要注意的是：①宝石台面下的包体易被发现；②亭部的包体易被反射成多个影像，形成“满天星”；③祖母绿型款式任何位置的包体都易被发现，包括腰部，因此设计这种琢型应使用干净的原料。

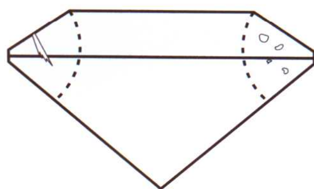


图 5-1-35 包体的处理位置

5）对于颜色鲜艳、形体规整、轮廓清晰、易于观察的包体可充分利用，如琥珀中的昆虫、水胆玛瑙、发晶等。

4. 比例的设计

在刻面型琢型的设计中，要充分考虑台面大小、冠部角度、腰面厚度和亭部深度，才能使宝石切磨后的体色、亮度、火彩和闪耀程度达到最佳效果。

（1）台面大小的设计

台面大小是相对宝石的腰径而言的。对于有色宝石，台面大小影响着宝石的颜色、火彩、闪耀程度和重量。这里要强调的是，颜色包括色相、明度、彩度（饱和度）三个因素。其中颜色中的明度又称为“亮度”、“色耀度”，它与色散有关的“火彩”在设计中是一对矛盾，因为亮度是各色反射光和透射光线的总量，亮度强代表各单色光在宝石内的全反射都比较强，任何一种单色光的反射光量减少，都会使亮度减弱。而火彩的要求正好相反，它要求各单色光的反射不一致，某些单色光反射量要大些，某些要小些，这样才能显示出色散，即火彩。正是由于这种原因，亮度和火彩不可能同时达到最佳状态。因此我们在宝石比例设计中，追求的是它们的综合效果，是二者的一种折中，这种折中通常被称为闪耀程度。搞清上述关系后，对我们的比例设计是很有帮助的。

对于色散效应强的宝石，如钻石、锆石等，设计时应使台面相应减小，因色散区主要集中在冠部的斜面区域。台面减小，会使冠部的斜面区域增大，光线将以不同的折射角从亭部

反射。但无限度的减小，色散虽有所增强，宝石的亮度却会大打折扣，而且这样做对宝石的重量也没有好处。对宝石颜色较暗的可使台面增大得到改善，因为这样可以透过更多的光，但台面超过腰部直径的2/3时，从台面反射的光线将会抑制斜面区的光线，产生“晕”反射效应，宝石显得呆板。

（2）冠部角度的设计

冠部角度是指冠部主刻面与腰平面所夹的锐角。在腰径一定时，其大小由台面和冠高来决定。

在腰径和冠高不变的情况下，冠部角度的变化效果是一样的，冠部角度增大，台面增大，冠部角度减小，台面减小。

根据宝石的折射率计算或从《宝石折光率同临界角相关曲线图》上可查得刻面宝石冠部的角度，具体计算公式如下：

$$\beta = 8 \times (45^\circ - \alpha)$$

式中：β—冠角，单位：度；α—亭角，单位：度。

冠部角度确定后，星刻面和上腰面的角度根据下列关系求得：

$$星刻面角度 = 冠部角度 - (12^\circ \sim 7^\circ)$$

$$上腰面角度 = 冠部角度 + (5^\circ \sim 9^\circ)$$

（3）腰部厚度的设计

腰部是宝石的镶嵌边，其厚度直接影响着宝石的重量和完美。太薄易导致腰部破损，太厚会产生模糊的灰色反射。就标准圆钻型的款式来说，腰边由16段厚薄相间的曲线组成，其腰部厚度按下式变化：

$$\{\delta\}\ \mathrm{mm} = \{a\} + \{b\}\ \mathrm{mm}^2 / \{D\}\ \mathrm{mm}$$

式中：δ—腰部厚度；D—腰面直径；a—经验系数，为0.017mm；b—经验系数，为0.05～0.08mm²。

（4）亭部角度的设计

亭部角度是指亭部主刻面与腰平面所夹的锐角，其大小由腰径和亭深来决定。

亭角对宝石闪耀的影响是很大的，因为正确的亭角，可将尽可能多的光线从亭部小面反射出来，以产生最大的亮度（如图5-1-36(a)）。

如果宝石的亭角小于正常变化范围，则亭部深度减小，进入宝石的光线会从亭部漏失，从台面向下观察，中心会出现“窗”，即鱼眼效应（如图5-1-36(b)）。

如果宝石的亭角大于正常变化范围，则亭部深度加大，进入宝石的光线，同样从亭部漏失，从台面向下观察，中心处变暗，产生“钉头”效应或黑底效应（如图5-1-36(c)）。

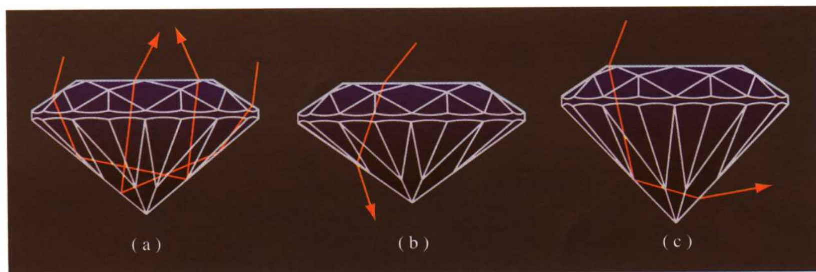


图5-1-36 宝石的光路示意图

(a) 理想加工；(b) 厚度偏小（鱼眼效应）；(c) 厚度偏大（黑底效应）

美国宝石学家E．S．Love描述的二维石亭角的计算公式如下：

若 $\sqrt{a} \leqslant D_1 \leqslant 2$，$a=(90°+\phi)/2$

若 $2 \leqslant D \leqslant \infty$，$a=(270°-\phi)/2$

式中：a—亭部主角，ϕ—介质的临界角，单位均为度。

对钻石而言，亭角约为40°，但对于其他宝石，这个角度根据折射率而变化。一般说来，折射率越低，宝石的亭角就应越大，也就是亭部越深，以便产生内反射，增大闪耀度。

常见宝石的临界角、冠角、亭角见表5-1-4。

表5-1-4 常见宝石的冠角和亭角

宝石名称	临界角	冠角	亭角
钻石	24° 26′	33°	40° 61′
人造钛酸锶	24° 32′	33°	41°
合成立方氧化锆	27° 43′	35°	41°
锆石（高）	31° 18′	35°	41°
锆石（低）	33° 32′	37°	42°
榍石	32° 2′	35°	41°
人造钇铝榴石	33° 04′	35°	42°
人造钆镓榴石	29° 30′	35°	41°
铁铝榴石	34°	37°	42°
镁铝榴石	34° 56′	37°	42°
钙铝榴石	34° 56′	37°	42°
红宝石	34° 35′	37°	42°
蓝宝石	34° 35′	37°	42°
金绿宝石	34° 56′	37°	42°
合成尖晶石	35° 19′	37°	42°
尖晶石	35° 36′	37°	42°
透辉石	36° 39′	38°	42°
锂辉石	37° 03′	38°	42°
顽火辉石	37° 18′	43°	39°
坦桑石	36° 15′	38°	42°
孔雀石	37° 2′	43°	39°
橄榄石	37° 18′	43°	39°
磷灰石	37° 45′	43°	39°
阳起石	38° 24′	43°	39°
碧玺	38°	40°	43°
黄玉	38° 09′	40°	43°
绿柱石	39° 21′	42°	43°
合成祖母绿	39° 40′	42°	43°

续表

宝石名称	临界角	冠角	亭角
拉长石	39° 54′	42°	43°
钠长石	40° 59′	42°	43°
正长石	41° 12′	42°	43°
石英	40° 20′	42°	43°
堇青石	40° 26′	42°	43°
琥珀	40° 30′	42°	43°
方解石	42° 18′	42°	44°
蛋白石	43° 36′	43°	45°
萤石	44° 13′	43°	45°

（三）刻面型琢型的定位和定向

刻面型宝石虽然没有弧面型宝石的猫眼效应和星光效应，但为了更好地体现透明宝石的体色、亮度、火彩及闪耀程度，也需要对它进行定位。刻面型宝石的定位主要是对台面的定位，方法如下。

1. 多色性明显的宝石

非均质宝石具有多色性，大部分宝石的多色性并不明显，因而在设计定位时可不予考虑。多色性明显的宝石，常见的有红宝石、蓝宝石、碧玺和坦桑石等，在设计中有一个定向定位的问题。定向和定位对不同宝石是不同的，要视具体情况而定。如蓝宝石，一般从平行结晶轴（Z轴）方向上观察颜色为蓝色，而从垂直Z轴的方向上观察常显示出一定的黄绿色，设计时通常把琢型的台面选在与晶体Z轴垂直的方向，这样可获得较柔和的蓝色。又如绿色碧玺，一般从垂直Z轴的方向上观察颜色为鲜明的绿色或蓝绿色，而从平行Z轴的方向上观察常显示深棕绿色或深橄榄绿色，设计时通常把琢型的台面选在与晶体Z轴平行的方向（见图5-1-37）。但是，如果碧玺的颜色极浅，有时又不得不选用垂直Z轴的方向为台面，这样可增加颜色的深度。

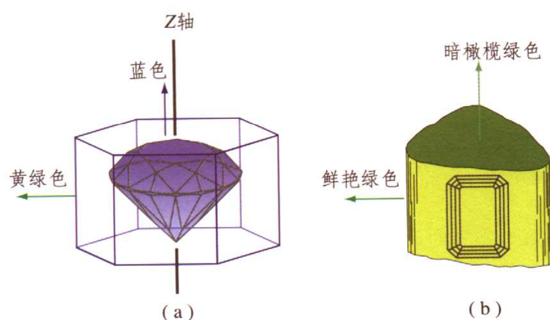


图5-1-37 蓝宝石台面的定位（a）和绿色碧玺台面的定位（b）

2. 无多色性或多色性不明显的宝石

由于这类宝石在各个方向上颜色无变化或变化极小，因此在设计时应充分考虑最大限度地利用宝石。保证成品大的一个方法是，台面平行于对角线平面（见图5-1-38）。常用这种方法确定台面位置的宝石有石榴石、尖晶石、水晶等。

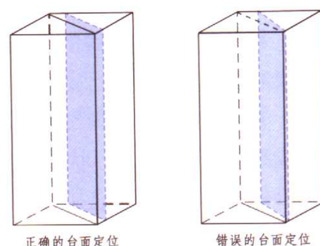


图5-1-38 无多色性或多色性不明显的宝石的台面定位

3. 具有色带、色区、色团和色斑现象的宝石

有些宝石，常见晶体中颜色分布不均匀，如蓝宝石中的色带、紫晶中的色斑、碧玺中的色区等。如果台面方向确定不当，就可

能造成其成品从台面观察时颜色分布不匀的现象，从而影响其商品价值。

对于蓝宝石的色带，通常把它放在靠近宝石腰部且平行于台面的位置，这样，色带的颜色通过宝石内光线的多次反射、折射，在顶面可展现均、正、浓的蓝色。

对于紫晶的色团、色斑，通常把它放在宝石台面正下方的中央区域，即放在冠部、腰部或亭部，使之从顶面观察颜色较均匀。如果色斑很小，最好把它放在亭部的尖角处，通过光线的反射、折射，使原本无色的折射光变成有色光，达到增色的效果（见图 5-1-39）。

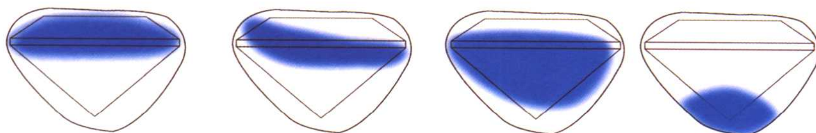


图 5-1-39 色团和色斑的处理

对于碧玺的色区应酌情处理，如果色区无规律，采用上述两种方法放置色区，如色区排列有序且颜色鲜艳，可采用如图 5-1-40 的方法定位台面。

4. 具解理的宝石

对解理发育的宝石来说，在原料切割上非常方便，但对于宝石加工的抛光工序来说，就较困难，而且易产生热使台面破裂，因此在原石定位上应避免台面平行于解理面，可使台面与解理面成5°～10°（或80°～85°）的角度或与纵轴平行来定向。如果原石的解理数较多，其走向原则上应避免台面平行于解理最发育的一组（见图 5-1-41）。

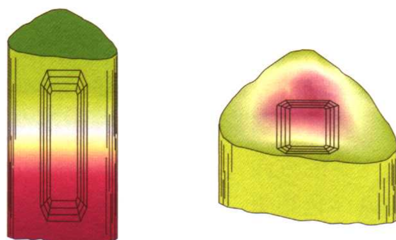


图 5-1-40 多色碧玺台面的定位

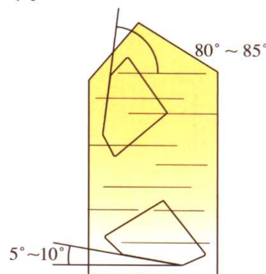


图 5-1-41 具解理宝石的台面定位

（四）刻面型宝石的选料

习惯上把透明度作为是否采用刻面型琢型的重要尺度，对于比较透明的宝石多采用刻面型琢型，对不透明的宝石多采用弧面型琢型或其他琢型。对刻面型宝石原料的选择要比弧面型严格得多，因刻面型的原料价格较高，如果选择不当，损失会很大。根据外表很难推断宝石质量如何，宝石的价值常不仅在于外表美观，更须内部质地良好。

首先要检查原料的色彩性质及其分布状况。许多宝石有极明显的多色性、色区或色带，如果将其合理地进行定位，则可使宝石身价倍增。

其次要检查原料的形状。许多原料是很薄的片状或多锯齿状，这不利于原料的利用，对出成率影响很大。形状规则的宝石晶体，是宝石工匠乐于接受的。如电气石常呈细长铅笔状，断口似三角形。这很接近于祖母绿式的切割款式，因此切磨时极少损失。石榴石晶体常呈浑圆球状，这有利于加工成圆钻型款式。

再次要检查原料内部的瑕疵、绺裂的多少及分布。选料时，应从各个角度加以检查，想象出沿裂痕切割后的原料形状及大小。若估计损失量可能超过60%以上，则在选料时要慎重。

另外还要对裂痕的性质加以了解。天然裂痕常因铁质污染外观呈暗褐色或黑色的细丝，而因锤击损伤留下的许多小裂痕，含有空气而显白色，对于这类料的选择更要慎重。因为其中可能还会暗藏许多裂痕。所以在宝石加工行业中害怕小裂，不怕大裂。

最后要检查原料的重量，宝石原料不能太小，太小不利于加工和镶嵌，对不同宝石的重量要求不同。一般要求在0.6ct以上，对于群镶的宝石可降至0.1ct以上。对于宝石晶体而言，要求粒径大于5mm，珍贵者可在3mm以上。

适用于刻面型宝石材料的种类很多，常见的有：钻石、红宝石、蓝宝石、祖母绿、海蓝宝石、变石、碧玺、长石、水晶、黄玉、橄榄石、尖晶石、石榴石等。

（五）刻面型宝石的加工工艺流程

刻面型宝石的加工工艺要比弧面型宝石复杂得多，分为九道工序：出坯、上杆、圈形、冠部研磨、冠部抛光、（翻转宝石）上杆、亭部研磨、亭部抛光、后期处理。

1. 出坯

出坯是指把原料切割成小块料，然后用修理锯切割出宝石款式的雏形。切割所用的锯片为薄铁板制成，直径为100～150mm，厚度为0.3～0.5mm，其外缘刻有300多条小沟槽，小沟槽内嵌入100～120目金刚石粉末。具体操作步骤如下：

1）清理载石台，打开切割机和冷却水。

2）切除原料的外皮（无外皮的可直接进入下一步骤）。手持原料，用力均衡地把原料推入锯片，刚进料时，速度要慢，中途在进料畅通时加快速度，当料快切完时，放慢速度，以免崩口。

3）沿较深的裂纹切割原料。这样可得到大大小小不等的毛坯。

4）仔细观察毛坯，对不易观察到的绵裂用墨线标记位置，避免设计到宝石款式的轮廓线内。

5）若感粒度仍很大，则需进一步分料，要求切出的毛坯大粒多，小粒少，切除边角废料少，而且毛坯大小是可以被宝石款式接受的。

6）宝石毛坯分为规则形和不规则形。规则形毛坯（立方体、四方棱柱体）可用切割机沿对面一分为二，或平行对角面分为一大一小两部分。所得截面为正方形或长方形。正方形适合于加工成圆形、六边形、八边形及方形的琢型。长方形适合于加工成椭圆形、阶梯形、橄榄形等琢型。

不规则形毛坯应多切割成倒锥体，且锥体的高度应大于顶面长边的一半，这有利于款式设计。若锥体顶面为近正多边形，则毛坯可设计成圆形、方形等琢型；若锥体为近船体的形状，则毛坯可设计成椭圆形、阶梯形等琢型；若锥体顶面为一头大、一头小，则毛坯可设计成水滴形或心形等琢型；若锥体顶面长远远大于宽，则毛坯可设计成橄榄形等琢型。

以上是中低档宝石的出坯过程，对于较高档的宝石是不宜切割成小块的，除非宝石原料有严重的绵、裂等瑕疵。对高档宝石应本着简单去除边角料，达到初步出坯的结果。

2. 上杆

上杆是指用胶把毛坯和粘杆粘结在一起。刻面型宝石的上杆，要比凸面型宝石复杂得多，这是因为刻面型宝石在磨制过程中需要更精确的角度。

粘杆主要用黄铜材料制成，也有用铁质材料的，长度一般为100～150mm，粘杆的粘结端有多种形状，以便粘结不同琢型的宝石（见图5-1-42）。胶一般用黑火漆胶或红火漆胶。

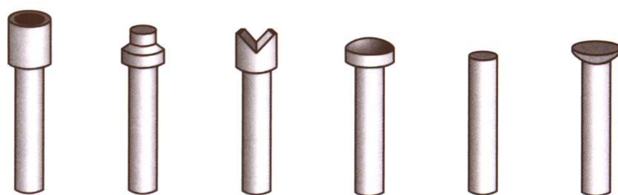


图 5-1-42 粘杆

上杆的具体操作步骤如下：

1）将粘杆和宝石毛坯的表面洗净。

2）把胶弄碎，放于火烧杯中，用酒精灯加热至熔融。

3）把粘杆的粘结端加热，再加热毛坯，受热要均匀，如果毛坯怕热，则用石棉网隔开加热。

4）用胶把粘杆和毛坯粘结在一起，趁胶未完全凝固时，纠正角度。要求毛坯的中心线与粘杆轴线重合，顶面与粘杆重合，待自然冷却。

以上所介绍的上杆过程是对有经验的宝石工匠而言的，对于初学者来说，为了能使毛坯的角度达到精确，应借助杆粘接架。其结构和方法在此不再赘述。

3. 圈形（后面的工序都以黄玉的标准圆钻型为例）

圈形是指圈磨出宝石的腰部形状和冠部的基本弧面，圈形时所用的磨具粒度为180#～220#。在圈腰部形状时，要确保粘杆轴线与磨盘面平行，这样才能使毛坯的顶面垂直于腰面。在圈冠部的基本弧面时，弧度要小，即弧面与粘杆的夹角要小。弧面的曲率要一致，否则会影响到冠部的刻面研磨。磨制方法见图 5-1-43。

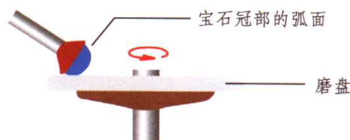


图 5-1-43 宝石冠部的圈形

4. 冠部的研磨

冠部研磨是指用宝石刻磨机带动毛坯在磨盘上磨出不同角度的小面，宝石刻磨机一般使用八角手刻磨机和机械手刻磨机。磨盘一般为150mm 直径的金刚石磨盘，磨粒的粒度一般为600 目。具体操作步骤如下：

1）打开研磨机和冷却水。

2）把带毛坯的粘杆安装到45°块上，再把45°块安装到宝石刻磨机上，使台面朝下，平行于磨盘，然后将宝石的台面磨平（见图5-1-44）。

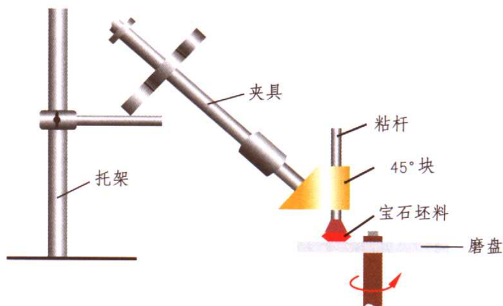


图 5-1-44 用 45° 块研磨冠部台面

3）卸下45°块，把带有毛坯的粘杆直接安装到宝石刻模机上（以八角手刻磨机为例），调节主机平台，使宝石与磨盘呈40°接触，并调节“八角手”到1孔位，通过八角手八条边在平台上的转动，可磨出冠部的八个主面。此时主面大小要一样，台面直径要达到腰直径的50%～60%。

4）提升主机平台，使毛坯与磨盘成23°，调节“八角手”到2孔位，通过八边的转动可磨出冠部的八个星小面。此时星小面与主面刚好构成两个正方形。

5）下降主机平台，使毛坯与磨盘成46°，调节“八角手”到3孔位，通过八边的转动，可磨出冠部左边的八个腰面。

6）保持平台不动，调节“八角手”到4孔位，通过八边的转动，可磨出冠部右边的八个腰面。此时冠部研磨完毕，这里要注意的是在研磨过程中，宝石与磨盘的接触要轻，用力适当，并不断观察磨削进度。

5. 冠部的抛光

抛光所用的抛光盘一般为紫铜盘，抛光剂为钻石粉。具体操作步骤如下：

1）将磨盘取下，换上抛光盘，开机，涂上少量抛光剂。

2）用粘油法找到合适的角度，此角度要与研磨时的角度绝对吻合，否则会有多余小面出现。抛光顺序为先抛光星小面，然后抛光主面，最后抛光腰小面。

3）换上45°块，用上述粘油法，抛光宝石台面。

6. 上杆

冠部研磨和抛光完毕后，将宝石坯料在酒精灯上加热，然后取下宝石坯料，掉转方向，将冠部粘结于一平头粘杆上。方法参见第2个工序。

7. 亭部的研磨

具体操作步骤如下：

1）将粘杆安装到八角手上。

2）调节主机平台，使毛坯与磨盘成40°，选用八角手的1孔位，通过八边的转动，可磨出亭部的八个主面。

3）下降主机平台，使毛坯与磨盘成43°，选用八角手的3孔位，通过八边的转动，可磨出亭部左边的八个腰小面。腰小面的长度应为亭部主面长度的2/3。

4）保持平台不动，选用八角手的4孔位，同理，可磨出亭部右边的八个腰小面。

8. 亭部的抛光

亭部抛光的方法与冠部抛光一样。顺序是先抛8个亭部主面，再抛16个腰小面。

9. 后期处理

具体操作步骤如下：

1）若怕亭部的底尖破损，可在亭部底尖处磨一个小平面，研磨与抛光的方法同前。

2）腰部抛光　为了宝石的整体美，可对腰部进行抛光。

3）拆胶处理　把宝石和粘杆用酒精灯加热，使胶融化，拧下宝石。

4）清洗处理　把带有胶的宝石和粘杆分别放入酒精中，待胶溶解后，把宝石和粘杆取出，用清水洗净。

至此，刻面型宝石的加工完毕。

三、珠型宝石的加工

珠型琢型的几何形态较简单，由于珠子用于制作项链、手链、胸坠等首饰，需要把几个或十几个串连起来，因此珠型宝玉石所显示的美，不仅表现在单个珠子的造型上，更重要的是整串珠型宝石的造型上。

（一）珠型的琢型

珠型根据其形态特点可分为球形珠、腰鼓珠、柱形珠及其他形珠（见图5-1-45）。

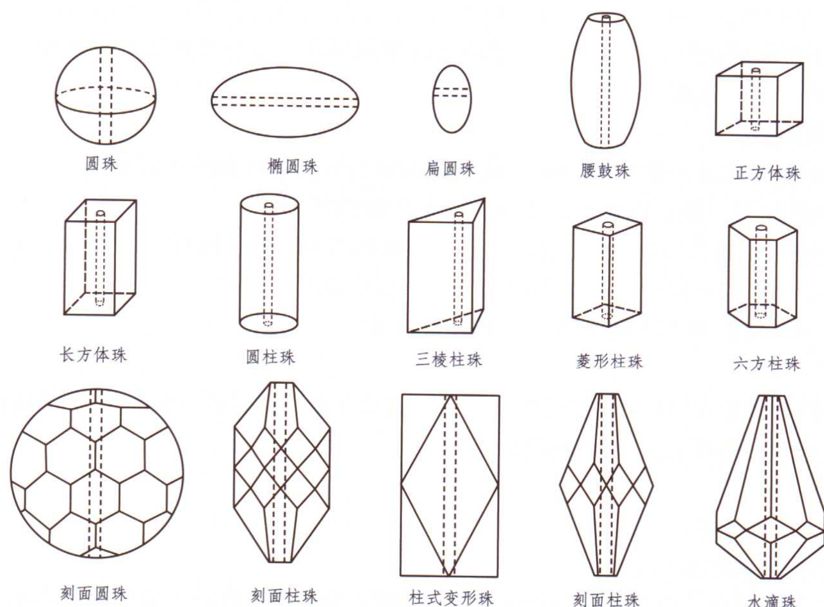


图 5-1-45 不同的珠型琢型

（二）珠型的选料

珠型宝石的原材料很多，大部分属于中低档宝石，如绿松石、孔雀石、玉髓、木变石等。也有部分是人造品，如玻璃、塑料、陶瓷等，当然也有高档品如翡翠等。

珠型宝石由于大部分被用于磨制成项链、手链等，这就决定了珠型宝石颗粒的尺寸要一样，而且数量大，因此加工这种琢型需要批量的机械化生产，以提高加工效率，但同时这种批量生产所带来的损耗也大，不适合贵重宝石的加工。所以珠型宝石多选用价廉的低档宝石材料。

（三）珠型的工艺流程

同其他琢型的宝石一样，将一块原料加工成形状规整、外观漂亮的珠型宝石，也要经过如下几道工序：开石→出坯→预形→粗磨→细磨→抛光→过蜡→穿孔。

珠型宝石的工艺流程本质上与弧面型宝石是相同的，只是加工设备有所不同。

1. 开石

由于珠型宝石的原材料（如虎睛石、芙蓉石、东陵石等）不少是大块料，直径在 30cm 以上，因此需要开石机把它们切割成小块料，切割后的小块料一般不应大于 15cm，在开石过程中要注意将原料固定好，要冷却充分，进料均匀。开石机结构如图 5-1-46 所示。

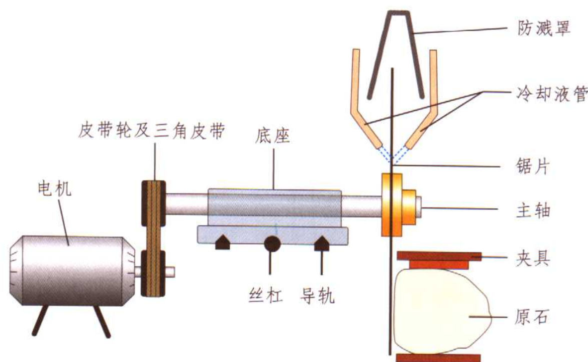


图 5-1-46 开石机结构简图

2. 出坯

在选料中我们提到，珠型宝石的成品大致直径相当，因此要对它的原材料进行一些处理，使它形状规整、大小一致。

出坯一般要经历切片、切条和断粒三道工序，程序见图 5-1-47。

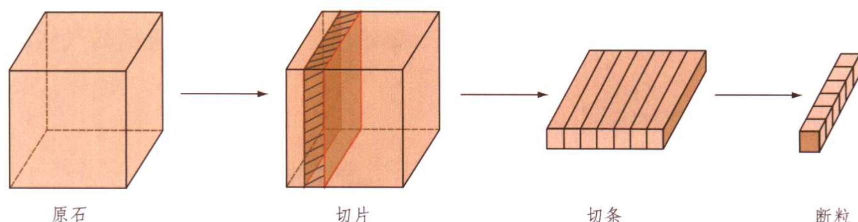


图 5-1-47 出坯的过程

原料的切片需用切片机。在切片时，需注意以下几点。

1）片料的平行度要好，否则切割出来的方坯不是立方体。

2）片料的平面度要好，否则部分成品珠的直径会减小。

3）切割前，要夹紧原料，避免在切割过程中原料翻滚和错位。

4）片料的厚度一般应比成品珠的直径大 0.7～1.0mm。

原料被切割成片料之后，就可用多刀切割机讲行切条和断粒。多刀切割切出的立方体珠坯不仅形态规整，而且切割效率高。在断粒后，要对坯料进行挑选，把不符合尺寸和有损伤的坯料挑出。对崩口的坯料要酌情处理。一般要求坯料的棱边崩口深度不超过棱边的五分之一，即 $h_{棱} \leqslant \frac{d}{5}$；而角崩口深度不超过三分之一，即 $h_{角} \leqslant \frac{d}{3}$。如崩口过大，就无法琢磨合乎尺寸要求的圆珠。

3. 预形

预形又称倒棱，即把一批规整好的坯料置于容器中，用固着磨料或游离磨料将其棱角磨掉，使之达到比较高的圆度，预形后的工序余量在 0.3～0.7mm 之间。

倒棱有单粒倒棱和多粒倒棱两种方法。单粒倒棱主要适用于珠坯数量少、形状大小相差较大、较贵重的宝石原料，单粒倒棱是用手持方形珠坯在砂轮机上完成的，方法与弧面型宝石基本相同。多粒倒棱适合大批量生产。倒棱的设备有砂盘倒棱和滚筒倒棱两种。

（1）砂盘倒棱机

将立方体珠坯倒入护圈内，砂轮在电机带动下转动，此时珠坯即在砂轮盘面上翻滚。由于棱和角与盘面接触的几率远大于平面，因此立方体珠坯的平面几乎不会受到磨削，而棱和角将很快被磨削掉。砂盘倒棱机一次可放坯料 3～5kg，倒棱时间大致为几十分钟至两个小时，这要根据宝石原料的硬度而定。砂盘倒棱机结构如图 5-1-48 所示。

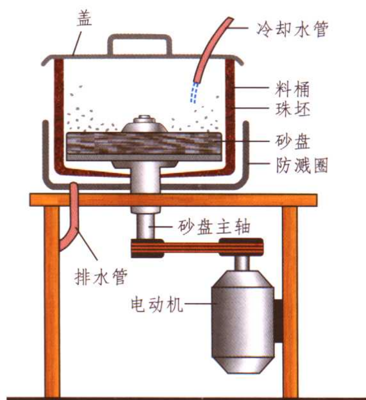


图 5-1-48 砂盘倒棱机结构简图

（2）滚筒倒棱机

滚筒抛光是通过珠坯与磨料在滚筒内的运动摩擦来完成的（见图 5-1-49），在滚筒抛光时要注意这样几点：① 珠坯在放入滚筒前要洗净，前道工序中损坏了的珠坯要挑出，否则

会影响好的珠坯。②滚筒的速度要控制好。滚筒转动时，珠坯会随滚筒上升，当达到一定高度后（称转向点）开始下滑，形成一流动层，从而使珠坯与抛光剂、珠坯与珠坯之间产生摩擦。如果转速过快，珠坯到筒顶时会纷纷落下，而使摩擦减小、碰撞加大，造成碎珠的出现。反之，转速太慢，珠坯上升高度降低，主要集中在筒底，这样流动层距离减小，结果抛光效果不好，因此控制好滚筒的转速是至关重要的。③由于滚筒工作时间较长，珠坯在摩擦过程中，筒内压力会增大，因此在工作一段时间后，要停机开盖一次，把里面的气体放出，有利于安全。

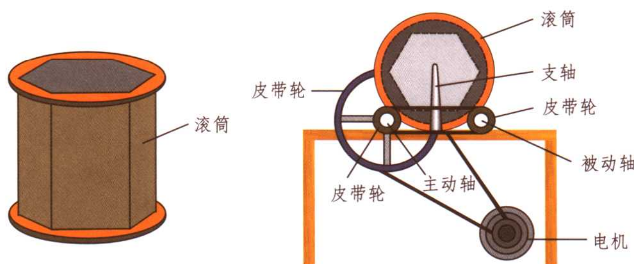


图 5-1-49　滚筒倒棱机结构简图

滚筒倒棱机一次性可放入几十公斤，甚至上百公斤的坯料，倒棱时间为几十小时至上百小时。

4. 粗磨

在粗磨之前需对珠坯进行分径，即对同等直径的珠坯筛选以备用。

粗磨工序是将预形后的珠坯通过粗磨机进一步加工成圆珠形态，并使加工余量减至 0.2～0.4mm。粗磨时，按照珠坯直径的大小选好孔板，并将其固定在底座上，调节孔板的位置，使之与砂盘面平行并相隔合适的间距，将珠坯填入孔板的孔中，然后，盖上上盘，并施以适当的压力。此时压力太大，珠坯易碎或使砂盘不能转动，压力太小，珠坯会从孔中跳出。

5. 细磨

细磨工序也称窝珠。粗磨之后的珠坯，仍留有一定的加工余量，且圆度不高，表面经常存有明显的擦痕。为使这种珠坯达到一定的圆度和光洁度，我们使用了窝珠机。细磨的方法与粗磨相同，只是所用容器和磨料的粒度有所不同。

6. 抛光

同其他各种类型的宝石加工一样，圆珠宝石的抛光也是为了获得光洁明亮的外表，所不同的是抛光方法有所区别。它所用的设备有滚筒抛光机和振动抛光机两种。在倒棱工序中所用的滚筒即可用做滚筒抛光机，只不过体积小、转速快。

振动抛光通过一振动容器的振动，使容器内的坯料与抛光剂相互作用，以达到抛光的目的。振动抛光一般周期较长，分为粗抛、细抛和上光三个步骤。粗抛主要是利用较粗的磨料去掉圆珠表面明显的研磨痕迹；细抛是为了去掉表面更小的痕迹，以便通过上光获得好的抛光效果。在细抛光完成以后，要将圆珠彻底清洗。然后倒入容器中，加入适量的水及抛光剂（氧化铬、硅藻土或刚玉粉），让抛光机工作 24～48h 以后，一般可获得良好的抛光效果。

7. 过蜡

过蜡的目的是为了使珠子表面不受污染和侵蚀，填平珠子表面的微细凹坑、裂纹及划痕，从而增加珠子表面的光洁度。

过蜡的工序较简单，就是把盛有珠子的过蜡桶浸入熔融石蜡液中，由于过蜡桶形似漏勺，因此可使珠子充分浸蜡，然后提出，用干燥的布把珠子擦净，在此过程中要控制好石蜡液的温度和珠子浸入的时间，以免珠子过热而破裂。

8. 穿孔

珠子的穿孔是比较困难的，因为穿孔时易产生偏差和孔崩口等。

穿孔的方法很多，如手钻穿孔、钻床穿孔、超声波穿孔和激光穿孔。最常用的穿孔方法是超声波穿孔（见图 5-1-50）。

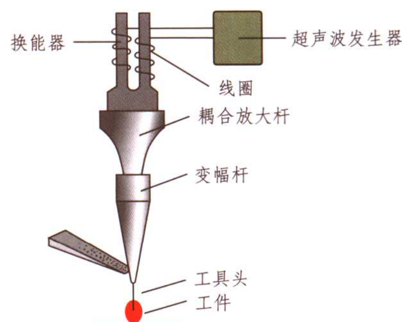


图 5-1-50　超声波穿孔机结构简图

超声波穿孔是利用超声波高频振动带动磨粒对宝石进行磨削。超声波穿孔的工具头使用硬质合金，它不仅工效高而且磨损率低，工具头（钻杆）的振动幅度为25μm和频率为500Hz时，穿孔效果最佳。磨粒的粒度为180# 比较合适。

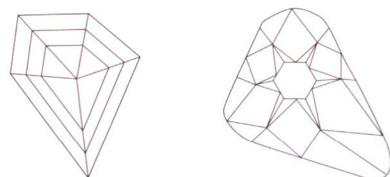
为防止崩口现象的出现，可采用两端对穿的方法解决，另外这样还可避免穿孔时一头大一头小现象的发生。

四、异型宝石的加工

（一）异型宝石的琢型

异型包括自由型和随型两大类琢型。

自由型是人们根据原石的自然形态、颜色、色形等刻意琢磨出的造型（见图5-1-51）。自由型又根据所使用的工具和方法分为自由刻面型和雕件型。


图 5-1-51　异型琢型

随型是人们完全按照大自然所赋予原石的形状，进行简单地磨棱去角、并抛光。雨花石、三峡石等观赏石即为随型石。

（二）异型宝石的加工工艺过程

1.自由型宝石的加工

（1）自由刻面型

自由刻面型宝石多数是高档宝石，如钻石、红宝石、蓝宝石、欧泊等。自由刻面型宝石的加工工序主要为：出坯、研磨和抛光。出坯就是去除宝石原石的外皮，切掉大的裂隙及杂质，从而得到宝石的大致外形（毛坯）。研磨的顺序同刻面型宝石加工类似，即把毛坯粘到粘杆的一端，研磨并抛光宝石的一半。然后掉转毛坯，研磨并抛光另一半。对于形状奇特的造型，有时可分几部分分别进行研磨和抛光。

自由刻面型宝石加工过程中，由于刻面多且不规则，所以要记住每个刻面的角度和孔位，以便后面的抛光能顺利进行。或者每磨一面，就抛光一面。

（2）雕件

雕件是根据宝石原料的形状与某些动、植物等的相似程度来进行的造型设计。雕件的主要材料为玉器，但也有宝石晶体，如碧玺晶体雕成的观音，水晶晶体雕成的花卉、虫鸟等。

雕件的加工工艺即宝石雕刻工艺，在下一章中详述。

2. 随型宝石的加工

随型宝石的原料不限，高、中、低档材料均可。这种琢型不仅可以最大限度地保留宝石的重量，而且可以充分发挥人类的想像力。

随型宝石的造型基本上由原石本身的形状来决定。一般只要磨去棱角、抛光即可，因此工艺较简单。它的研磨和抛光都使用滚筒来完成。其方法与珠型宝石加工一样。

第二章　玉石加工工艺

玉石的加工根据其工艺特点可分为不必雕琢的素面首饰加工和需要雕琢的玉器加工两大类。前者在宝石的加工中已经提及，本章所叙述的主要是玉器的加工。

玉器一词起源于周代，周代把玉制器称为玉器，《周礼》书中设有官府“掌玉瑞、玉器之藏”，可见我国玉器词源很早。

中国传统玉器行中的玉器原材料主要是天然玉石，同时还包括有机宝石（如象牙、骨、蚌壳、砗磲、煤精等）及其他少量的宝石材料如水晶、碧玺、刚玉、绿柱石、红珊瑚、玻璃等。

玉器的制作工艺非常复杂，包括的内容主要有原材料处理工艺、设计工艺、琢磨工艺和抛光装潢工艺等。

玉器是造型艺术，即雕琢有花纹和形象，如佩饰、花珠、花坠、人物、动物、花鸟、器皿等。还有雕琢后经过组装形成的造型艺术品，如盆花、屏风、艺术画等。

我国传统的玉器工艺石中还包括图章石（如寿山石、青田石、鸡血石、巴林石等）和文房四宝中的砚石，多与书画行业相关联。

象牙雕刻历史久远，在原始社会就有应用，商代妇好墓出土象牙杯，《战国策》中有象牙席的记载，以后历代象牙雕刻作品层出不穷，直到现代仍是中国有名的工艺美术品。象牙雕刻是一个专门的行业，如北京象牙厂、广州象牙厂。不过现在因动物保护，禁止象牙销售，这个行业将面临资源匮乏的窘境。

龟、贝、角雕也属于工艺美术行业，分散在各工艺美术厂和民间作坊中，品类很多，都表现了中国手工艺术的特殊性。

第一节　玉器的分类

一、玉器的分类

玉器有古代玉器和现代玉器之分。

（一）古代玉器

民国以前的都可称古玉，汉代以前为一历史时期，有原始社会古玉、商周古玉、战国秦汉古玉。唐至清代为一历史时期，各朝代玉器特点不同。民国时期玉器多仿各代玉器以利出口。古代玉器属于文物范畴，在此不加论述。

（二）现代玉器

是在清代玉器和民国玉器基础上发展起来的，但又和清代、民国玉器不同，有着自身的特点。

现代玉器按照行业习惯和产品造型可分为玉石首饰、玉石艺术品、玉石盆景三类。

1）玉石首饰类　以人身饰戴为用途，种类极其庞杂，又是玉器业主要经营的品种。

2）玉石艺术品类　该类在行业中称为“玉件”。它以造型艺术为主，包括大、中、小件，

凡有形象纹饰的都归入此类。

3）玉石盆景类　是采用宝石、玉石制成的盆栽艺术品和各种材质的陈设艺术品，它以錾、嵌合成为特点。

二、玉石首饰

玉石首饰分素面玉石首饰和雕琢纹饰玉石首饰两种。

（一）素面玉石首饰

1）戒面　有椭圆形、圆形、榄尖形（又称橄榄形或马眼形）、心形、马鞍形等。透明度高的磨成上下弧面，透明度低的磨成上弧面底平面。

2）随形石　造型不定，以反映自然形之美。

3）戒圈　也称戒箍，为均匀的圆环状或马镫状（见图5-2-1）。

4）挂坠　包括胸坠和耳坠。胸坠样式很多（有纹饰胸坠除外），以鸡心坠为普遍（见图5-2-2），其他还有圆（又称为怀古）、方、菱、钟、铲、叶、随形等；耳坠有水滴形、圆形、扁圆形和异形坠等。

5）珠串　珠打眼穿起来成串称为珠串，用于项饰、腕饰及其他用途。珠有圆珠（见图5-2-3）、莲子珠、异形珠、棱珠、算盘珠、随形珠等。碎料抛光、打眼后穿起来也能成为项串。



图5-2-1 翡翠〝马镫〞戒圈

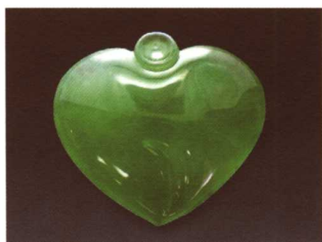


图5-2-2 翡翠鸡心坠



图5-2-3 羊脂玉串珠

（二）雕琢纹饰首饰

雕琢纹饰的首饰又称为挂件或花饰。

花饰　浮雕花鸟、人物、动物等纹饰的小巧饰物称为花饰。花饰种类很多，名称也多，如长方形牌又称“子冈牌”（见图5-2-4）；用于腰间的佩饰称“别子”；圆珠雕花的称为“花珠”。花饰有形制规整的，如圆形、椭圆形、水滴形，有形制不规整的随形。花饰有浅浮雕、深浮雕、一面雕、两面雕、镂空雕和非镂空雕等，多种多样。



图5-2-4 白玉“子冈牌”

三、玉石艺术品

（一）玉件人物

玉件人物的特点：玉件人物以古装人物为主，但不限于古装人物一种，现代人物亦常有制作。古装人物有神仙、佛、老人、小孩、仕女及有故事情节的人物等。

玉件人物的用料比较干净，也就是地子匀、色匀。不使用纹路特别明显的料，如缠丝玛瑙、花地翡翠、花纹明暗太显著的孔雀石、有黑线的松石、轮纹的珊瑚等，尤其人脸部位的

料质、料色更要明快干净。


图 5-2-5 白玉仕女

多色玉石常被利用制作俏色产品，如玛瑙、翡翠、独山玉、岫玉等。

1）仕女　通常仕女拿花持扇，装束为古装小姐打扮，发髻卷于顶上，发丝下垂至背部，长裙拖地，宽袖下垂，腰围二道裙，系带束腰打结，汗巾下垂，脚下衣纹做出碎步姿态。复杂一点的加入各种首饰等。仕女的造型要用料恰当，身段秀丽，脸美、喜相，手拿物俏气、真实（见图 5-2-5）。

2）小孩　古装小孩根据古画中百子图中的形象造型，也有光身顽童的作品。童子以稚气、顽皮、生动为好。

3）老人　老人的形象比较多见，题材有东方朔偷桃、太白醉酒、天官赐福、寿星等。老人刻画要求脸部特征鲜明、宽衣大袖、造型喜庆。

4）佛　佛像有如来佛、番佛、大肚佛、观音、多臂佛等。

如来佛　如来佛的形象如庙中正中殿堂的塑像，是正宗佛的形象。肩宽、胸部丰满、盘膝做手势、慈眉善目、鼻直口方、二目下视、方圆脸、大耳垂肩，显得端庄肃穆。中级料经常做的是三尊佛，称为“三大士”。


图 5-2-6 珊瑚“童子拜观音”

番佛　番佛是印度佛塑像造型，袒胸、披裟、身着璎珞，造型比较活泼，身段比较优美，多出现在高级料作品中。

弥勒佛　这是人们喜闻乐见的一种佛的形象，以大肚翩翩、开怀大笑为特点。低、中、高档料都可制作。

观音　观音是人们喜爱的佛像（见图5-2-6）。中国对观音形象的艺术创造已很完美，玉器观音造像有童子拜观音、观音渡海、水月观音等。

多臂佛　玉器多臂佛有四臂佛、六臂佛、八臂佛，造型比较活泼，经常用高级料制作。

除以上各种佛外，还有各种造型的菩萨，如骑犼的文殊菩萨、骑象的普贤菩萨等。

5）仙人　仙人的制作较为随便，形象和姿态随料的条件而选定。由于仙人形象有一定的特征和表情，技术难度大一些，做不像反而不美。经常出现的有八仙、和合二仙、刘海等。十八罗汉本是佛，在玉器中也以做仙人的手法制作，形象较为怪异，如伏虎、降龙罗汉等。有一些女性仙人以仕女手法制作，如花仙、麻姑、青蛇、白蛇等，其形象和仕女没有太大区别。

佛和仙人中的高质量作品多出现在玉器精品中，是玉器人物很重要和有代表性的作品。玉器中的俏色作品也多出于此题材。

6）历史名人和有情节的作品　选用历史名人和情节故事片断作为人物创作的题材，难度较大。有的作品起的名称很好，但造型很一般，反映不出名称所含的内容。高质量的作品应该名称和内容一致，做到名副其实。有的作品的主题虽然并不是著名的历史题材，但细观作品仍能给人们以情节般的感受，这些作品都属于艺术创作范畴，它给玉器艺术增加了无限的光彩。

（二）玉件花卉和花鸟

1. 玉件花卉

玉件花卉是一个以雕琢技巧表现写实花卉为主的品种。花卉要做得飘洒玲珑、穿枝过梗，

衬托的草虫也要做得栩栩如生。

玉石料很脆，单独表现花卉容易折断损坏，所以花卉常傍以瓶、花插和山石静物，傍以瓶的最多，又称为花卉瓶。

花卉做工玲珑，不宜体现玉的润美，不宜使用色暗的、纹裂多的料。因此花卉选料较整齐，料色多明快，质地也较坚韧。

傍以瓶和其他静物的花卉作品，花卉四周写实雕琢，有主次面，主面花叶茂盛，次面点缀。瓶身和瓶盖上的花卉相互衔接，形成一体。也有瓶盖上是折枝花的，与瓶身花不衔接。

中、低级料以制作花卉瓶为主，是常规产品。瓶盖上的折枝花、瓶身上的主花多是牡丹、月季，也有以萱草、君子兰的叶为主的，一般是正面花为主，背面点缀，草虫也只选用蝴蝶、蛾等简单造型 。

玛瑙和高级料的花卉造型变化比较大，工艺也细。由于花卉的穿枝过梗和花形的变化，在用料上很讲究。用花卉把质地优、颜色好的料全部占上，把瑕疵用镂空去掉，所以花卉产品做成以后，料质料色要优于原材料的原形。如翡翠小块的绿、分散的绿全部澄清出来，使料的成色提高，这是花卉用料最大的优点。

一般用草虫、动物作为花卉的陪衬，以增加花卉作品的情趣。草虫有螳螂、蝈蝈、蟋蟀、甲虫、蝴蝶等，做得栩栩如生、生机盎然。多种花卉相搭配，花卉与草虫为主题是常见的产品，取用中国传统的吉祥名称，如岁寒三友（松、竹、梅）、四君子（梅、兰、竹、菊）、松鹤延年、喜上眉（梅）梢等。

由于花卉作品用料比较活，有一个章法布局问题，这常常是花卉作品质量优劣的一个重要指标。布局顺生态自然规律，又巧其变化，使花卉聚散、线、面、体完整，如枝干的苍劲，花头的挠折，花叶的穿枝过梗、翻卷折叠，草虫、动物的呼应，眼地的镂空，瓶身的秀丽，山石、野花的点缀都要恰到好处。在做工上要叠挖自然，枝、梗、叶、蒂、花瓣、花蕊，草虫的头、须、翅、腿都要做得干净利落。

花卉在玉件中是立体的细腻作品，如同国画中的工笔画，细腻得连叶筋都要做出，只求写意效果是不行的。但这并不是说，花卉作品越繁越好，细腻和繁不同，细腻是烘托造型，繁是破坏造型。因此，我们看一件花卉作品的好坏，要从造型和细腻入手，不是从繁入手（见图 5-2-7）。



图 5-2-7 碧玉“无悔的青春”

2. 玉件花鸟

玉件花鸟是近几十年来兴盛的产品，鸟有仙鹤、凤凰、锦鸡、鸡、鸭、鹰等造型。花鸟正在发展时期，有的以鸟为主，以花为辅，有的花和鸟并重，好的花鸟作品要求注意鸟的形象和动态，鸟和花的呼应关系。

花鸟产品多用中低档料制作，常有俏色鸟作品出现。成对的鸟要求两只颜色、透明度、质地、造型、高矮一致（见图 5-2-8)。



图 5-2-8 翡翠“风起云来”

（三）玉件动物

玉件动物是以动物为题材的玉器。古代玉件动物已很有水平，有造型生动、变化自由、写实与装饰手法熟练的特点。

动物用料很杂，高、中、低档料，大、中、小件都有，小料头也可做个小动物。

按动物的造型变化可分为写实动物、传统动物和动物形器皿几种。

写实动物 多为马、牛、羊、猪等十二生肖，象、骆驼、鹿等其他动物也有制作。

传统动物 有狮、辟邪、龙、角瑞等。

动物形器皿 有牛罐、羊罐、牺尊、鸡尊等。

常规马、牛、羊、象等有常规作法，多成对，也有成套的，如十二辰、八马等。

马 马有立、卧、扑、仰、踢、跳、跑、嚎等不同姿势。掌握马身的矫健、头型的机警是做马的关键，注意马头的筋骨、前胸的丰满、后小肚的上提和腿关节蹄寸的安排。汉马、唐马都是我国传统马的优秀造型，常有仿制。

牛 牛主要作立式和卧式，重点在头型，尤其要注意牛眼的有神。身体主要是胯骨，在牛身粗大中要突出脊、胯、臀骨骼。

羊 羊有山羊和绵羊。山羊跳跃顽皮，绵羊温顺平和。山羊比绵羊头小、嘴尖、身瘦。作羊要注意腿和头部的造型。

象 象的体形宽大，四肢粗有力，前身高，后身低，鼻子上卷自然，脑包、眼泡、扇耳、牙根都是象的特点，处理好了能提高象的动态和传神。

狮 无论是走狮还是门蹲狮，都是中国传统狮造型，以头型最重要。

传统动物和兽形器皿虽然制作很多，但多仿制古代造型，造型和工艺要求也较高。

动物是喜闻乐见的品种，需求量很大，在质量上除去作什么像什么外，最重要的是动态。作动物要了解动物的习性，掌握住动物的动态规律（见图 5-2-9）。



图 5-2-9 翡翠“斑点狗”

（四）玉件器皿

制作玉件器皿是玉器中最难的工艺技术，在用料、设计、琢磨、抛光方面都有自己的特点。

目前大量生产的器皿造型多仿清代玉器和古代青铜器。还有实用器皿如壶、碗、盘，文房用的笔洗、笔筒等。

器皿造型以炉、瓶为主。北方以北京为代表，南方以上海为代表，在造型上出入很大。北京讲求端庄、稳重、规矩、细腻；上海讲求玲珑、挺拔、秀丽，在工艺上各有千秋。

器皿造型最重要的是规矩四称，造型和纹饰协调。它选料严格，脏、绺去净后才能设计，带有脏、绺是大缺点。

炉 标准炉是圆腹、缩口盖，盖上有顶纽兽，腹两边有兽头耳衔环，下有兽面纹三腿。质量指标是选料干净，琢工细腻，兽纽、兽头、兽面造型大小合适、紧凑、对称。变形炉有荸荠扁炉、五环炉、高庄炉和亭子炉。以亭子炉造型最复杂，工艺技术要求高，变化也大（见图 5-2-10）。

瓶 瓶的造型多种多样，有圆肚瓶、观音瓶、齐肩瓶、梅瓶、方瓶、棱瓶、涡角瓶、鸡腿瓶、蒜头瓶、扁瓶、葫芦瓶等。瓶上双耳和盖纽琢以各种造型。瓶身有素的，有周身纹饰的，有开光纹饰的，有浮雕纹饰的，有圆雕纹饰的。瓶膛在光照下可看出和瓶身造型一样。

北京继承和发展了薄胎、压丝技术，做出的器皿压金银丝、掏薄胎，特点突出。这种器皿有壶、碗、盘等（见图 5-2-11）。

薰 北京薰造型一般由五节组成。从上到下分为顶纽、盖、腹、中柱和底座，用螺丝扣拧接组成，有的有九节。顶纽一股雕琢龙、瑞兽首、花头，下衔小环。盖作镂空花，在镂空花中有的开光作浮雕。身有素的、有浮雕花纹的。身上的两耳作镂空雕，有龙、凤、花造型，两耳垂环。中柱随造型变化，可长可短，也可不要，有中柱的一般有四小环。底足以浮雕花饰为主，丝扣在各节中部做出三、四扣，拧紧后，五节薰周正。有的薰足是腿足。

南方薰多链，顶盖之间加节，使顶高竖起来。腹和足之间也加节，纹饰也多，显得玲珑、工大（见图 5-2-12）。



图 5-2-10 亭子白玉炉



图 5-2-11 白玉瓶



图 5-2-12 翡翠含香聚瑞花熏

仿青铜器和由青铜器变化来的器皿造型有尊、垒、卣、觥、觚、鼎、匜、爵等，有的造型纹饰很美，常是玉器中的佳作。

其他器皿造型有碗、杯、壶、盘、碟、盒、洗等，常规和精品都有生产。

器皿上的纹饰有镂空花、顶撞花、阴勾花、浮雕花、光子花，这些花纹的质量要求以搭配协调、线条准确、形象生动、干净利落为准。

器皿中的子母口在质量要求中也很重要，以深浅适度、规矩严谨为好。

（五）玉石盆景

玉石盆景 即用宝石、玉石做的盆景艺术品，目前以花卉盆景为主。有单种花卉、多种花卉、金本果树盆景50多种。这种盆景用珐琅作盆，金属丝加纸浆料做树干(树干可贴金箔)，铁丝裹绒栓花瓣制成。花用艳色玉石，叶用绿色碧玉、岫玉、黑绿蛇纹石玉等制作。如牡丹盆景有五色牡丹、三色牡丹、绿牡丹等盆景。这些盆景用玛瑙、芙蓉石、岫玉、白石英岩玉作瓣，黑绿蛇纹石玉作叶，每盆有花五朵、三朵，在绿色叶中十分醒目，显得十分鲜艳。又如花篮盆景采用珐琅花篮作盆，多种花卉栽入篮内，花卉姹紫嫣红、争奇斗艳、果实累累、富丽堂皇。

花卉盆景有大有小，有造型变化盆的样式，做工的粗细都不同。检验盆景的质量以使用原材料的品种、制作的造型、做工的粗细为准，包括瓣、叶、果的磨制形状、颜色、搭配是否协调，树木与花卉、盆与花卉的造型是否协调。好质量的花卉盆景应该是花形艳丽、叶形活泼、树本质感强烈、盆栽大小合适，以艳丽、精工、丰满为主（见图 5-2-13）。



图 5-2-13 玉石花篮盆景

除玉石花卉盆景外，还有玉石果品、蜡台、盘花等品种。

玉石果品 经常生产的有葡萄、香蕉、佛手、桃、黄瓜、柿子等。

玉石蜡台　是用攒制花瓣的方法，将花的心部装上蜡碗，作盘状花形，放于桌上，用于点蜡，是实用装饰物。

还有一些是新设计的人物盆景、山水盆景和景物、动物盆景，这些盆景在用料、造型、做工上出入很大，规格不一。

玉石盆景用料范围广、工序多，是既简单又复杂的玉器加工题材，每一道工序都影响着产品的质量，每一道工序都要检验，这样才能组成好的玉石盆景造型。

（六）玉石镶嵌

玉石镶嵌组成的艺术品可以包括很多类，范围很广。它既可组成画面，也可组成图案，既可平嵌，也可浮雕嵌，也有立体包镶嵌。如屏风、插屏、挂屏、静物、人物、器物等都有玉石镶嵌品生产（见图5-2-14）。



图5-2-14 和田玉插屏

（七）玉山子

玉山子　利用玉石自然之形态，因形赋形，雕琢山水人物，称为玉山子。这种造型有的小巧，可几案陈设，有的重千斤，置于室内堂馆，气势宏伟（见图5-2-15）。

玉山子按玉料的形状、颜色、绺裂进行设计，去除瑕疵，掩其绺裂，顺其色泽，使料质、料色、造型浑然一体。

玉山子在设计中随料立意，可简单，可复杂，可浮雕，可深雕，可山水人物，可楼台殿阁、草屋石洞，可牛马动物、翎毛花卉，在远近景散点透视中，布局描绘，以取得材料、立意、加工方面的统一。因此，玉山子造型自由性较大，可以尽情发挥设计者用料的天才，使作品更富有诗情画意的立体境界。

玉器准确的分类还没有形成，以上只是大概的情况。作为玉器艺术来说，它不受品种的限制，人物中有动物，动物中有人物，这是司空见惯的。还有一些产品不好归类，暂且称为杂件，如金玉结合艺术品等。

玉件是玉器中的主要类别。在原材料使用和工艺上难度很大，是我国玉器艺术的代表，在国内外都享有盛名。



图5-2-15 青山玉“会昌九老图”

第二节　玉石加工设备和辅料

一、开料设备

在没有电动开料的年代，开大料用弓子锯，即用竹板弯成弓形，用多股铁丝拧花栓成弓弦，两人来回拉动弓子锯，一人向弓弦与料接触处搭水和砂，弓弦带入金刚砂把料锯开。后来逐渐发展为具有电动装置的丝子锯床、无齿锯床、半自动落架式开料机、自动开料机等（见图5-2-16）。

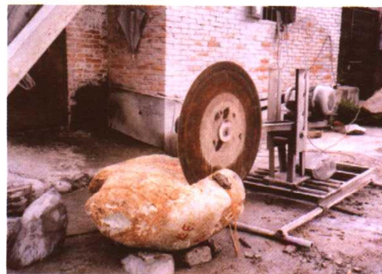


图5-2-16 开料机

二、琢玉设备

（一）琢玉机

中国玉器的成就主要依赖于琢玉工具的发明、延续和改进，到了战国时代用铁工具琢玉已经成熟，从出土玉器纹饰特点分析，其设备工具辅料的完善和手工技巧的娴熟已为历代所承认和继承。明代《天工开物》记载的磨玉机图与20世纪的磨玉机从功能和操作方法上几乎没有什么大的区别，全是脚踩轮动的琢磨玉器的方法，在形状上也大同小异。纵向来看，《天工开物》记载的磨玉设备，有相当大的可能是中国古代琢磨玉器的最主要和最古老的设备（见图5-2-17）。

20世纪50年代前，磨玉机叫“木橙”（见图5-2-18）。由木架支撑制成，由橙面、橙槽、锅架、支撑架、座橙、踩板等部分组成。

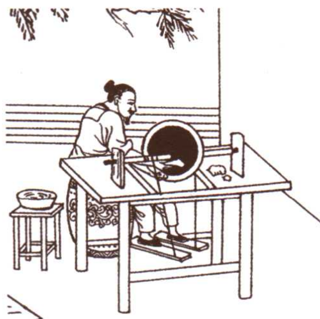


图5-2-17 “天工开物”琢玉图

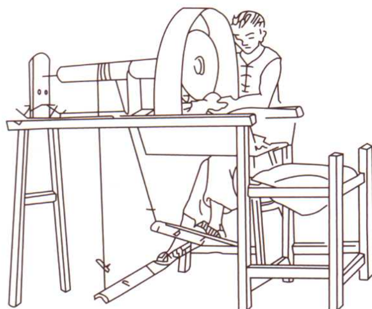


图5-2-18 木橙

现代磨玉机（又称为“横机”）由机身、传动和轴组成。电机通过传动轮带动主轴转动，主轴上可安装工具。把工具头调整在和主轴转动一致的同心圆上，使工具转动没有上下左右跳动的现象。工具头有粘接、丝接和卡接几种。

在磨玉机上还有照明、吊秤、供水、砂圈挡板等辅助设备。吊秤是为重玉石吊装、通过杠杆减轻手托玉石的重量的部件；供水是为了钻石粉工具冷却；砂圈挡板是为阻挡水和砂在机器运转中向四处飞溅（见图5-2-19）。

另外还有一种轻便的手持式蛇皮钻（又称为“吊机”），可以任意加工作品的各个部位，有灵活方便的特点（见图5-2-20）。蛇皮钻由电机、软轴和工具卡头三部分组成，工具卡头卡住钻石工具进行操作。



图5-2-19 磨玉机琢玉



图5-2-20 蛇皮钻琢玉

（二）辅助配件

现代琢玉机的功能齐全，配上各种不同的配件（称为“铊”或“砣”，见图5-2-21），几乎可以完成整个玉器加工过程。如安上锯片（称为“铡铊”），可以开料（见图5-2-22）；其他如砍外形的“压铊”、“高三角钉”；钩线条的“片铊”；修线条的“枣核铊”、“滚针”；磨光用的“喇叭铊”、“平棒铊”、“尖针铊”、“圆头棒”；以及打眼用的“针铊”等。

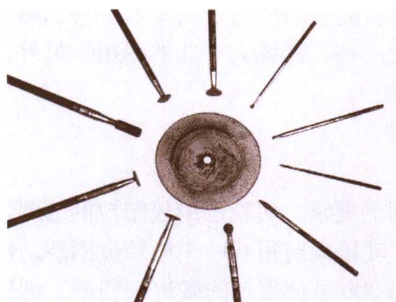


图5-2-21　各种不同类型的“铊”



图5-2-22　“铡铊”开料

三、抛光设备

抛光玉器的主要抛光设备是抛光机。抛光机构造如磨玉机，根据不同的玉料，可以选择不同的配件，如：木铊、皮铊、布铊、石铊、刷砣等进行抛光（见图5-2-23）。

其他抛光设备有滚光桶和振动抛光机等很多种。手工抛光经常是必不可少的一道工序。



图5-2-23　机器抛光

四、其他设备

打孔是玉器生产中一项很重要的工序。古时打孔虽然水平很高，但设备简陋，延续下来的方法是手拉钻杆钻孔。目前手工打眼虽然仍有使用，但多为机械打眼所代替。用专门设备（如超声波机床）打孔，机械打孔不但提高了效率，而且可以打异形眼孔。

其他还有旋玉碗的旋碗机、磨圆珠的磨珠机等专用设备。

五、辅料

辅料即辅助材料。有的辅料在琢磨玉器中起主要作用，如磨料、抛光粉等，有的起辅助作用，如四川蜂蜡、松香、墨汁、油、酒精、碱、漆皮等。各工种、各工序应用辅料很多，各不相同。

（一）磨料

磨料是琢磨工艺的主要辅料，用于研磨玉器，起切削作用，没有磨料不能琢磨玉器。

磨料有天然产的，有人工合成的。天然产的是各种硬质矿石砂，如石英砂、石榴石砂、刚玉砂等。天然砂的使用有着同玉器一样长的历史，解放前还使用，现在已不用了。人工合成的有碳化硅、碳化硼和钻石粉等，是目前使用的主要磨料。

1. 磨料的性能

宝石和玉石有不同的硬度，要求磨料的硬度要高于原材料的硬度，至少也要和原材料的硬度相等。琢磨钻石只能使用钻石粉，琢磨红、蓝宝石则要求磨料的硬度高于摩氏硬度9，磨料的硬度越高，琢磨加工越省力。

磨料要有锋刃的棱，能通过滚动摩擦，把原材料表层剥落，起到切削作用。所以磨料的棱角愈多，愈锋利，切削作用愈大。磨料的粒状形状有点状体、球状体、桶状体、多面体、尖状体。尖状体比例大对磨料的质量有不利影响。磨料的切削能力还受磨料韧性的影响。摩擦压力可使磨料破碎，有的韧性大一些，有的脆性大一些，韧性大一些的耐用。另外，磨料破碎后产生的新形状对磨料的切削能力也有很大影响。

以上硬度、形状、韧性是磨料质量的优劣标准。

2. 磨料选择

宝石和玉石加工用各种工具时，对磨料有不同的要求，切割选用较细粒的磨料，如铡铊用120号金刚砂。粗磨用粗粒磨料，如出坯串膛、轧糙面时用60～100号金刚砂。作细工碾磨时，使用细粒金刚砂，如顶撞、勾掖和勾面纹用200号使用过的破碎细粉砂。细砂的提取是由铡磨工序使用后的金刚砂，经水掏洗分选出的。

钻石粉工具因钻石粉附着在工具上面，虽然不由工人自己分选，但在制造钻石粉工具时，也要选择不同粒度的钻石粉来制造不同的工具。

（二）抛光粉

抛光粉的种类很多，多是各种氧化物，如氧化铁、氧化铬、氧化铝、氧化铈、氧化锑等。非氧化物抛光粉也有多种，如微粒度的碳化硅、碳化硼、二氧化硅、钻石粉等。

高硬度的宝石选择的抛光粉硬度要高于宝石的硬度，才能进行抛光。抛光钻石只能用钻石粉，其他任何抛光粉都不适用。同样红宝石和蓝宝石选择抛光粉的面很窄，除去用钻石粉外，碳化硼、氧化铝、碳化硅粉也可使用，但效果和效率不如钻石粉。

第三节　玉石的选择、处理和设计

玉石种类很多，有翡翠、软玉、岫玉、独山玉、石英岩玉、青金石、绿松石等，同时也包括体积较大的天然宝石、天然有机宝石等，如水晶、珊瑚等不下二十余种。对每一种玉石的选择有两个标准，即选用标准和等级标准。

一、选料

玉石质量主要观察外表特征，是可见的，并不难掌握。人们对它们有一个约定俗成的公认标准。选用玉石首先要认识玉石，这是玉器制作的第一道关口。原材料很贵重，每种玉石有应用的范围，依据玉石的不同，设计不同的作品是一般规律。

玉石质量很复杂，对每一块玉石都要进行处理。这种处理称为审料，即审查原材料的情况，达到认识原材料的目的。

设计者见到一块料后，要了解这块料的情况，研究料的特点，摸清料的内外变化，这套工艺处理就是原料的审查。审查的项目有：

1）查看玉石料的形状、质地特点、绺裂分布、杂质多少分布状态、颜色种类分布特点、

外皮表现，称其重量，分清利用部分和剔除部分。

2）按观察的情况安排审查工艺。审查工艺包括去皮、切开、挖脏、去绺裂、追色几个项目，显现玉石优质的质地和颜色。

3）依据玉石处理后出现的初步状态，考虑造型和选定造型。

4）依照初步考虑的造型，继续追凿玉石的虚实，看与自己想象中的印象是否吻合，如果有问题可再作审查处理，达到逐步审料，逐步探索，逐步认识，直到设计定稿。

在审查玉石原料的过程中，已经把玉石质地、颜色等情况了解清楚了，也有了造型的考虑和实践，这样就可以进行设计了。

二、设计

设计一件玉器作品除去对玉石的审查外，还应注意材质美和造型美的结合，有以下几点应重点考虑：

1）好玉无瑕，作品的完整性是重要的。如果作品上出现显眼的脏和绺裂，其造型再好，也是有缺欠。所以玉石的脏绺一定要去净，如果去不净，也要想办法遮躲，使作品中脏绺不醒目，行业中叫“挖脏遮绺”（见图 5-2-24）。



图 5-2-24 白玉山子

2）为了烘托玉石美，要选择适于玉石特点的题材。各种玉石有各种特点，有的是质地均匀细腻柔润美，有的是颜色美、多色美，有的是透明度美，有的是光泽美，表现玉石特点美是非常重要的。

3）造型设计要符合工艺制作要求，能用工具制作出来，即“量料施工”。“量料施工”有两方面要求：① 工具能制作。② 工具制作中不因玉石性质而损坏。玉石有的很脆，为防止损坏，不可太玲珑剔透；有的有韧性，可以施以细工；有的以颜色为特点进行设计；有的以透明度为特点进行设计；有的以玉石纹路特点进行设计。种种情况要分别对待。玉器设计必须有调动玉石特色的功力，有艺术美学的功力，只有两者结合得好，才能设计出出色的作品。

4）形象美，做什么像什么，线条、图案、影像准确，作品美观、大方、主题突出，同时还要注意对称协调。

玉石设计只是玉器设计的主要方面，最终作品效果决定于制作，设计工作要跟随作品一直到终了。换言之，制作是设计工作的继续，制作者代替设计者完成设计意图。如果说设计者是创造性劳动，那么制作者仍然是创造性劳动。

在设计工作中，已经对玉石料考虑得很周密了，又画定了图形，但在制作中，多数会出现与设计意图不相符合的变化，出现意想不到的新问题，设计者必须按新出现的情况改动原设计意图。改动设计意图有积极的一方面，也有消极的一方面。有一件玛瑙盘，当在制作过程中出现砂心孔洞时，设计者改变了作盘的想法，而改为编网状，使作品不露破绽痕迹，这是积极的改进，如玛瑙蟹篓（见图 5-2-25）。技术好的制作者，在接受制作任务以后，运用熟练的技法，锦上添花地丰富着设计意图，使设计者创作激情更高，因势利导，精益求精，设计者的指导是主动的，制作者接受指导也是主动的，两者相互协作，相互补充，必然对作品造型有利。技术差的制作者，在接受制作任务以后，每做一步要问一步，以便随时听取和接受设计者的指导，设计者一步一步

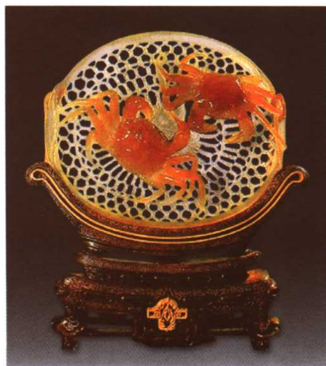


图 5-2-25 玛瑙蟹篓

地引导制作者推出造型，完成操作，这是制作者被动地接受指导。

设计者是玉器生产的中坚力量，需要有多方面的知识和技能。玉器设计不是随意想出来的，它是按原材料的形态正确利用的结果。玉器设计是造型艺术，要掌握形准，就必须锻炼造型能力，学习造型艺术，学习美术知识。玉器产品的制作有着很高的手工工艺，只有设计者自己的技术水平很高，才能指导别人使用工具和设备，把产品做出来，保证设计意图完美的实现。

从以上三点来看，用料、造型、工艺技术是设计者必须掌握的基本功，它成为设计者必备的条件。有了这三方面的技能，就能自行设计、自行制作了，就可以发挥自己的创作才能，有了指导别人制作的基础。

第四节　玉器加工工艺

一、玉器加工工艺的特点

玉器是难以用机器大规模生产的工艺品，它具有很强的手工特点，被称为特殊的手工艺。

1）原材料与工艺技术　原材料种类不同，加工方法不同，形成了专门的工艺技术门类。依据每种原材料的性质、质量、形状进行加工，是原材料性质、质量、形状的规律性要求，如玉润、水晶性脆、绿松石柔美，在加工中要依这些料的性质采取不同的工艺方法。

2）造型与工艺技术　由于原材料有内在美，它给产品造型限定了范围，但是玉石加工成的造型形状还是很重要的。人物、动物、花鸟、器皿形象，都有美和不美的比较，这就是造型在工艺技术上的反映。造型要反映原材料美，还要有自身的造型美，工艺技术就是为了达到原材料内在美和造型美的综合技术。

3）工艺技术的特点　玉器加工要通过琢磨来完成，也就是减法出造型。因此，减法准确对保证产品质量、提高生产效率关系很大，去多了损伤造型固然不可，去少了不能达到高效率也不可。因此，如何用工艺技术恰当地表现造型和质量是很关键的，是最难掌握的基本功。

4）玉器生产很专业，全面掌握各种工序琢磨技术的人才有可能出现，但不容易，设计者也不可能全部掌握。为了完成一件作品，尤其是高质量、高艺术水平的作品，需要各种加工工序的优良人才通力合作。

二、玉器加工工艺的主要环节

（一）琢磨工艺

琢磨工艺是玉器工艺技术的主要环节，琢磨分琢和磨两道工序，是为了出造型。

1）“琢”　即切开、雕琢，将造型中的余料切除。切除余料的几种不同手法叫铡、摽、扣、划。“铡”即切，与锯同义。“摽”是切除棱角。“扣”是挖取。“划”是密排切割。



图 5-2-26 玉器的琢磨

当不能再用切割的方法出造型时，换用研磨的工具，用研磨的办法出造型。研磨也是去除余料，有冲和轧的不同手法。“冲”是指大面积的冲磨，“轧”是指推进的碾轧，冲和轧是磨的主要工序。

产品经过铡、摽、扣、划和冲轧后，基本造型已经完成，称为“出坯”。为了清理细部，还要进行勾、撤、掖、

叠挖、顶撞、顺平等几种小工具的操作（见图 5-2-26）。

2）“勾”　是勾线；“撤”是顺勾线去除小余料；“掖”是把勾撤后的底部清理清楚，达到角、线利落；“叠挖”是起浮雕纹饰，把花鸟草虫、山水树木楼台做得起伏、变化、逼真；“顶撞”是把地纹撞平整；“顺平”是造型完成后，为使平面光滑，用各种工具再磨细一遍。

打孔工艺、镂空工艺、活环链工艺是跟随琢磨工艺一起进行的，有的由制作人自己完成，有的有专人完成。

练就一套琢磨玉器的好本领：要想达到技术过硬，就要熟练地掌握原材料的性质，熟练地掌握设备、工具、辅料的使用和修理，熟练地掌握造型规律，熟练地掌握造型的表现方法，熟练地掌握操作技术。只有技术过硬，才能应用工艺得心应手地稳、准、狠地琢磨造型，用最快的速度制作出满意的产品，提高产品质量。

（二）抛光工艺

玉器抛光是一个很重要的专业，直接关系到玉器美的程度。抛光因原料而异，因造型而异。

1）磨细　在抛光工序中磨细叫“去糙”，即去除表面的糙面，把表面磨得细腻。磨细是琢磨的继续，但不是为出造型，而是为抛光。去糙只能去除表面的不平整，不能伤害造型和纹饰。尤其造型和纹饰细部，不能因磨细而变得模糊。



图 5-2-27　手工抛光

磨细已不使用琢磨工具（用琢磨工具的磨细称揉细），换用抛光工具。磨细抛光工具用非金属材料制成，有革、棉、木、竹、胶、石等抛光工具（见图 5-2-27）。北京用的一种抛光胶是由胶和磨砂混合制成的，称为胶碾，去糙使用胶碾。

2）罩亮　罩亮就是用抛光粉进行抛光、磨亮。产品经去糙以后，基本上已达到乌亮的程度，即表面已很细腻光滑，为了使表面有强的反射光，还要罩亮。将抛光粉蘸在旋转的抛光工具上，用力摩擦产品表面，使其表面平滑产生镜面光反射，达到有镜面明亮的程度。

3）清洗　产品抛光以后，要把产品上的污垢清洗掉，使用的方法有水洗、酸洗、碱洗、冷洗、热洗、酶煮洗、超声波洗等，依材质、产品造型及产品上的污垢特点而选定。

4）过蜡、擦拭　这是产品抛光后的重要工序，其作用仍然是弥补表面微观不平的现象。蜡和油都是油脂类物，浮在产品表面可产生油亮的感觉，显得滋润，也可填平微小低凹不平处，增加了产品表面的光的反射强度，还有保护产品的作用。

过蜡是将产品烤热以后，用蜡屑溶化在产品表面上，或将蜡、油脂加热后，将产品浸入油或蜡脂里。过蜡工艺的选择依产品材质的不同而不同。在产品加温过程中要掌握温度适宜，不能因过蜡而损坏产品。

产品经过蜡以后，要在热的时候擦拭在冷却后剔蜡，使油脂分布均匀和凝蜡不显著。擦拭用棉质巾类，以柔软吸油为好，剔蜡用竹、木签子。

抛光工艺是玉器加工工艺的最后一道工序，因此，要求抛光技术工人不单单熟练掌握抛光技术，还要对产品琢磨过程、造型特点、原材料性能等有较多了解，以保证产品在抛光过程中采用适当的抛光工艺。

为了很好地使琢磨和抛光工艺衔接，抛光前要详细审查产品，看是否有未完成或未很好

完成琢磨工艺的部位，请琢磨工序工人尽量多微细地琢磨，以避免抛光工序过多地浪费时间；看产品的造型特点，确定重点保护部位，在抛光中尽量保持原作的神韵气质，不使产品因抛光降低艺术质量；看原材料特性和脏绺，在抛光中不使原材料的疵点扩大、粉尘钻入绺中，影响产品美观；看产品的娇嫩所在，采取保护措施，不因抛光而损坏产品。抛光技术工人要在琢磨技术工人对产品加工的基础上，最后把住质量关，一旦因抛光不慎，造成产品的缺欠，是相当可惜的。

（三）装潢工艺

装潢的目的，一是美化产品，二是保护产品。一般玉器都有座和匣两种主要装潢，有的还有成套的包装，如座上有玻璃罩，在玉器上结上丝绦、垂丝穗、镶金银等。

现在玉器装潢更显得重要，它对宣传玉器、给人第一眼印象有着重要意义。

1）座　座是玉器的主要装潢，它可提高玉器的身价，并使玉器放置平稳。

玉器的座有木、石、铜、铜镀金、金等材质，依玉器产品造型而设计，形状多为随形、方形、长方形、圆形、椭圆形等。座的高矮、宽窄、薄厚要看玉器的尺寸，太高、太宽、太厚不协调，喧宾夺主；太矮、太窄、太薄又显得不稳妥。

座的造型雕刻以玉器造型为依据，器皿玉器多用木座，木座以硬木制成，雕刻好后干磨硬亮，十分美观。花鸟玉器多用天然山木座，插屏多用支架座。

座面承接玉器，按玉器的底平把座面挖深一层，叫“落窝”。落窝的深浅，以放置产品后稳、正、不紧、不旷为好，还要窝内干净利落。

金属座、石座不如木座使用广泛，但也有应用。“大禹治水玉山”就是金属座，渎山大玉海就是石座，很有代表性。

2）匣　匣是为放置玉器而制作的，有纸、布、锦、木、漆、金属匣等。匣内有软囊，用棉或泡沫塑料填入，糊有绸布里。绸布里的颜色选择依产品的颜色而定，以衬托产品颜色醒目、协调为主。产品放入软囊中，不紧不旷，和四周距离不可过大，也不可过小，匣的外表以纸、布、锦裱褙分档次，纸匣是低档，布匣是中档，多用蓝布，称蓝布匣，锦匣是高档。还有硬木匣、花丝匣、漆木匣、珐琅匣、塑料匣、纸盒等，用于玉器的不同造型和品种。

匣也是产品主要的装潢，通过匣的装潢大体能了解产品的高贵程度。匣的大小、对里面料的选择及制作工艺，都有技术要求。

附录1 珠宝玉石名称

表1-1 天然宝石名称

基本名称	英文名称	矿物名称
钻石	Diamond	金刚石
红宝石	Ruby	刚玉
蓝宝石	Sapphire	
金绿宝石	Chrysoberyl	金绿宝石
猫眼	Chrysoberyl cat's - eye	
变石	Alexandrite	
变石猫眼	Alexandrite cat's - eye	
祖母绿	Emerald	绿柱石
海蓝宝石	Aquamarine	
绿柱石	Beryl	
碧玺	Tourmaline	电气石
尖晶石	Spinel	尖晶石
锆石	Zircon	锆石
托帕石	Topaz	黄玉
橄榄石	Peridot	橄榄石
石榴石	Garnet	石榴石
镁铝榴石	Pyrope	镁铝榴石
铁铝榴石	Almandite	铁铝榴石
锰铝榴石	Spessartite	锰铝榴石
钙铝榴石	Grossularite	钙铝榴石
钙铁榴石	Andradite	钙铁榴石
翠榴石	Demantoid	翠榴石
黑榴石	Melanite	黑榴石
钙铬榴石	Uvarovite	钙铬榴石
石英	Quartz	石英
水晶	Rock crystal	
紫晶	Amethyst	
黄晶	Citrine	
烟晶	Smoky quartz	
绿水晶	Green quartz	
芙蓉石	Rose quartz	
长石	Feldspar	长石
月光石	Moonstone	正长石

续表

基本名称	英文名称	矿物名称
天河石	Amazonite	微斜长石
日光石	Sunstone	奥长石
拉长石	Labradorite	拉长石
方柱石	Scapolite	方柱石
柱晶石	Kornerupine	柱晶石
黝帘石	Zoisite	黝帘石
坦桑石	Tanzanite	
绿帘石	Epidote	绿帘石
堇青石	Iolite	堇青石
榍　石	Sphene	榍　石
磷灰石	Apatite	磷灰石
辉　石	Pyroxene	辉　石
透辉石	Diopside	透辉石
普通辉石	Augite	普通辉石
顽火辉石	Enstatite	顽火辉石
锂辉石	Spodumene	锂辉石
红柱石	Andalusite	红柱石
空晶石	Chiastolite	
矽线石	Sillimanite	矽线石
蓝晶石	Kyanite	蓝晶石
鱼眼石	Apophyllite	鱼眼石
天蓝石	Lazulite	天蓝石
符山石	Idocrase	符山石
硼铝镁石	Sinhalite	硼铝镁石
塔菲石	Taaffeite	塔菲石
蓝锥矿	Benitoite	蓝锥矿
重晶石	Barite	重晶石
天青石	Celestite	天青石
方解石	Calcite	方解石
冰洲石	Iceland spar	
斧　石	Axinite	斧　石
锡　石	Cassiterite	锡　石
磷铝锂石	Amblygonite	磷铝锂石
透视石	Dioptase	透视石
蓝柱石	Euclase	蓝柱石
磷铝钠石	Brazilianite	磷铝钠石
赛黄晶	Danburite	赛黄晶
硅铍石	Phenakite	硅铍石

表 1-2 天然玉石名称

基本名称	英文名称	主要组成矿物
翡　翠	Jadeite, Feicui	硬玉、绿辉石、钠铬辉石
软　玉	Nephrite	透闪石、阳起石（以透闪石为主）
闪石玉	Nephrite	
和田玉	Nephrite, Hetian Yu	
白　玉	Nephrite	
青白玉	Nephrite	
青　玉	Nephrite	
欧　泊	Opal	蛋白石
黑欧泊	Black opal	
火欧泊	Fire opal	
玉　髓	Chalcedony	玉　髓
玛　瑙	Agate	
木变石	Tiger's-eye	石　英
虎睛石	Tiger's - eye	
鹰眼石	Hawk's - eye	
石英岩	Quartzite	石　英
东陵石	Aventurine quartz	
蛇纹石	Serpentine	蛇纹石
岫　玉	Serpentine, Xiu Yu	
独山玉	Dushan Yu	斜长石、黝帘石
查罗石	Charoite	紫硅碱钙石
钠长石玉	Albite jade	钠长石
蔷薇辉石	Rhodonite	蔷薇辉石、石英
京粉玉	Rhodonite	
阳起石	Actinolite	阳起石
绿松石	Turquoise	绿松石
青金石	Lapis lazuli	青金石
孔雀石	Malachite	孔雀石
硅孔雀石	Chrysocolla	硅孔雀石
葡萄石	Prehnite	葡萄石
大理石	Marble	方解石、白云石
蓝田玉	Lantian Yu	方解石、蛇纹石
菱锌矿	Smithsonite	菱锌矿
菱锰矿	Rhodochrosite	菱锰矿

续表

基本名称	英文名称	主要组成矿物
白云石	Dolomite	白云石
萤　石	Fluorite	萤　石
水钙铝榴石	Hydrogrossular	水钙铝榴石
滑　石	Talc	滑　石
硅硼钙石	Datolite	硅硼钙石
羟硅硼钙石	Howlite	羟硅硼钙石
方钠石	Sodalite	方钠石
赤铁矿	Hematite	赤铁矿
天然玻璃 火山玻璃 黑曜岩 玻璃陨石 鸡血石	Natural glass Volcanic glass Obsidian Moldavite Chicken-blood stone	天然玻璃 火山玻璃 黑曜岩 玻璃陨石 辰砂、迪开石、高岭石、叶蜡石
寿山石 田　黄	Larderite Tian Huang	迪开石、高岭石、珍珠陶土
青田石	Qingtian stone	叶蜡石、迪开石、高岭石

表 1-3 天然有机宝石名称

基本名称	英文名称	材料名称
天然珍珠 天然海水珍珠 天然淡水珍珠	Natural pearl Seawater natural pearl Freshwater natural pearl	天然珍珠
养殖珍珠，珍珠 海水养殖珍珠（海水珍珠） 淡水养殖珍珠（淡水珍珠）	Cultured pearl Seawater cultured pearl Freshwater cultured pearl	养殖珍珠
珊　瑚	Coral	贵珊瑚
琥　珀	Amber	琥　珀
煤　精	Jet	褐　煤
象　牙①	Ivory	象　牙
龟　甲 玳　瑁	Tortoise shell	龟　甲
贝　壳	Shell	贝　壳
硅化木	Pertrified wood	硅化木

① 根据相关法律，象牙及其制品禁止非法拍卖、销售。

表 1-4 常见合成宝石名称

基本名称	英文名称	材料名称
合成钻石	Synthetic diamond	合成金刚石
合成红宝石 合成蓝宝石	Synthetic ruby Synthetic sapphire	合成刚玉
合成祖母绿 合成绿柱石	Synthetic emerald Synthetic beryl	合成绿柱石
合成金绿宝石 合成变石	Synthetic chrysoberyl Synthetic alexandrite	合成金绿宝石
合成尖晶石	Synthetic spinel	合成尖晶石
合成欧泊	Synthetic opal	合成蛋白石
合成水晶 合成紫晶 合成黄晶 合成烟晶 合成绿水晶	Synthetic quartz Synthetic amethyst Synthetic citrine Synthetic smoky quartz Synthetic green quartz	合成水晶
合成金红石	Synthetic rutile	合成金红石
合成绿松石	Synthetic turquoise	合成绿松石
合成立方氧化锆	Synthetic cubic zirconia	合成立方氧化锆
合成碳硅石	Synthetic moissanite	合成碳硅石

表 1-5 常见人造宝石名称

基本名称	英文名称	材料名称
人造钇铝榴石	Yttrium aluminum garnet（YAG）	钇铝榴石
人造钆镓榴石	Gadolinium gallium garnet（GGG）	钆镓榴石
人造钛酸锶	Strontium titanate	钛酸锶
塑　料	Plastic	塑　料
玻　璃	Glass	玻　璃

附录2 优化处理珠宝玉石

表2-1 常见珠宝玉石优化处理方法及类别

基本名称	优化处理方法	效果	优化处理类别
钻石	激光钻孔	改善净度	处理
	覆膜	改善颜色	处理
	充填	改善净度	处理
	辐照(附加热处理)	改变颜色	处理
	高温高压处理	改善颜色	处理
红宝石	热处理	改善颜色	优化
	浸有色油	增色	处理
	染色	增色	处理
	充填	增加透明度	处理
	扩散	增色或产生星光效应	处理
蓝宝石	热处理	改善颜色	优化
	扩散	增色或产生星光效应	处理
	辐照	改变颜色	处理
猫眼	辐照	改善光线和颜色	处理
绿柱石	热处理	去除杂色，产生粉红色	优化
	辐照	产生黄色、蓝色	处理
	覆膜	产生绿色外观	处理
祖母绿	浸无色油	改善外观	优化
	浸有色油	增色	处理
	聚合物充填	改善颜色、耐久性	处理
海蓝宝石	热处理	产生纯正蓝色	优化
碧玺	热处理	改善净度	优化
	浸无色油	改善颜色	优化
	浸有色油	改善颜色	处理
	充填	改善净度	处理
	辐照	改变颜色	处理
	染色	改变颜色	处理
锆石	热处理	改变颜色	优化
托帕石	热处理	产生粉红色	优化
	辐照	产生绿色、黄色、蓝色	处理
	扩散	产生蓝色等	处理

续表

基本名称	优化处理方法	效　　果	优化处理类别
石　英	热处理	产生黄色、无色	优化
	辐照	产生紫色、烟色	优化
	染色	用于仿宝石	处理
长　石	覆膜	改善外观	处理
	浸蜡	改善外观	处理
	辐照	产生颜色	处理
方柱石	辐照	产生紫色	处理
坦桑石	热处理	产生紫蓝色	优化
锂辉石	辐照	产生紫色、绿色	处理
红柱石	热处理	改善颜色	优化
方解石	染色	产生各种颜色	处理
	浸蜡或充填	改变净度，防裂开	处理
	辐照	产生颜色	处理
翡　翠	漂白、浸蜡	改变外观	处理
	漂白、充填	改变外观	处理
	热处理	产生红色、黄色	优化
	覆膜	产生绿色	处理
	染色	产生鲜艳颜色	处理
软　玉	浸蜡	改善外观	优化
	染色	产生鲜艳颜色	处理
欧　泊	浸无色油	改善外观	优化
	染色	加强变彩	处理
	充填	改善外观、耐久性	处理
	覆膜	改善变彩	处理
玉髓（玛瑙）	热处理	产生鲜艳颜色	优化
	染色	产生鲜艳颜色	优化
石英岩	染色	用于仿宝石	处理
蛇纹石	浸蜡	改善外观	优化
	染色	产生鲜艳颜色	处理
绿松石	充填	改善颜色、耐久性	处理
	染色	加深颜色	处理
	浸蜡	加深颜色	处理
青金石	浸蜡	改善外观	优化
	浸无色油	改善外观	优化
	染色	改善外观	处理

续表

基本名称	优化处理方法	效果	优化处理类别
蓝柱石	辐照	以产生蓝色、黄色	处理
孔雀石	浸蜡	改善外观	优化
	充填	改善耐久性	处理
大理石	染色	用于仿宝石	处理
萤石	热处理	改善颜色	优化
	充填	改善外观、防裂开	处理
	辐照	改变颜色	处理
滑石	染色	产生各种颜色	处理
	覆膜	改善外观，掩盖裂隙	处理
羟硅硼钙石	染色	增色	处理
鸡血石	充填	增加红色	处理
	覆膜	改善外观，增加红色	处理
寿山石	热处理	改善或改变颜色	优化
	染色	产生黄、红至棕红色	处理
	覆膜	改变外观	处理
天然珍珠	漂白	改善外观	优化
	染色	产生黑色、灰色	处理
养殖珍珠（珍珠）	漂白	改善外观	优化
	染色	产生粉红色、蓝色、黑色、灰色等	处理
	辐照	产生蓝色、灰色、黑色等	处理
珊瑚	漂白	改善外观	优化
	浸蜡	改善外观	优化
	充填	改善颜色、耐久性	处理
	染色	产生红色	处理
琥珀	热处理	加深颜色，增加透明度	优化
	染色	加深颜色	处理
象牙	漂白	去除杂色	优化
	浸蜡	改善外观	优化
	染色	用于艺术品	处理
贝壳	覆膜	产生珍珠光泽仿珍珠	处理
	染色	产生各种颜色	处理

附录3 宝石化学成分表

宝石名称	化学成分
白云石	$CaMg(CO_3)_2$；可含有Fe、Mn、Pb、Zn等元素
贝　壳	无机成分：$CaCO_3$；有机成分：C、H化合物、壳角蛋白
碧　玺	$(Na,K,Ca)(Al,Fe,Li,Mg,Mn)_3(Al,Cr,Fe,V)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH,F)_4$
玻　璃	SiO_2，可含Na，Fe，Al，Mg，Co等元素
查罗石	$(K,Na)_5(Ca,Ba,Sr)_8(Si_6O_{15})_2Si_4O_9(OH,F)\cdot 11H_2O$
赤铁矿	Fe_2O_3
大理石	方解石$CaCO_3$；可含有Mg、Fe、Mn等元素
独山玉	主要组成矿物为斜长石(钙长石)和黝帘石，化学成分随组成矿物比例而变化
方解石	$CaCO_3$；可含有Mg、Fe、Mn等元素
方钠石	$Na_8Al_6Si_6O_{24}Cl_2$
方柱石	$Na_4Al_3Si_9O_{24}Cl-Ca_4Al_6Si_6O_{24}(CO_3,SO_4)$
翡　翠	$NaAlSi_2O_6$；可含有Cr、Fe、Ca、Mg、Mn、V、Ti等元素
符山石	$Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$；可含有Cu、Fe等元素
斧　石	$(Ca,Fe,Mn,Mg)_3Al_2BSi_4O_{15}(OH)$
橄榄石	$(Mg,Fe)_2SiO_4$
刚　玉	Al_2O_3；可含有Cr、Fe、Ti、Mn、V等元素
锆　石	$ZrSiO_4$；可含有Ca、Mg、Mn、Fe、Al、P、Hf、U、Th等元素
龟　甲	有机质
硅化木	无机成分：SiO_2，$SiO_2\cdot nH_2O$；有机质：C、H化合物
硅孔雀石	$(Ca,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4\cdot nH_2O$，可含其他杂质
硅硼钙石	$CaBSiO_4(OH)$
硅铍石	Be_2SiO_4；常含有少量的Mg、Ca、Al、Na等元素
海蓝宝石	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$；可含有Fe等元素
合成金红石	TiO_2
合成立方氧化锆	ZrO_2，常加CaO或Y_2O_3等稳定剂及多种致色元素
合成碳硅石	SiC
红柱石	Al_2SiO_5；可含有V、Mn、Ti、Fe等元素
琥　珀	$C_{10}H_{16}O$；可含H_2S
滑　石	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
辉　石	XYZ_2O_6；X为Ca、Mg、Fe、Mn、Na、Li，Y为Mg、Fe、Mn、Al、Cr、Ti、V，Z为Si、Al

续表

宝石名称	化学成分
鸡血石	辰砂：HgS，迪开石，高岭石，叶蜡石等多种矿物集合体
尖晶石	$MgAl_2O_4$；可含有 Cr、Fe、Zn、Mn 等元素
金绿宝石	$BeAl_2O_4$；可含有 Fe、Cr、Ti 等元素
堇青石	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$；可含有 Na、K、Ca、Fe、Mn 等元素及 H_2O
孔雀石	$Cu_2CO_3(OH)_2$
拉长石	$XAlSi_3O_8$；X 为 Na、Ca
蓝晶石	Al_2SiO_5；可含有 Cr、Fe、Ca、Mg、Ti 等元素
蓝柱石	$BeAlSiO_4(OH)$；可含有 Fe、Cr 等元素
蓝锥矿	$BaTiSi_3O_9$
锂辉石	$LiAlSi_2O_6$；可含有 Fe、Mn、Ti、Ga、Cr、V、Co、Ni、Cu、Sn 等元素
磷灰石	$Ca_5(PO_4)_3(F,OH,Cl)$
磷铝锂石	$(Li,Na)Al(PO_4)(F,OH)$
磷铝钠石	$NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4$
菱锰矿	$MnCO_3$；可含有 Fe、Ca、Zn、Mg 等元素
菱锌矿	$ZnCO_3$；可含有 Fe、Mn、Mg、Ca 等元素
绿帘石	$Ca_2(Al,Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$
绿松石	$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 5H_2O$
绿柱石	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$；可含 Fe、Mg、V、Cr、Ti、Li、Mn、K、Cs、Rb 等微量元素
煤　精	C；含有一些 H、O
木变石	SiO_2
钠长石玉	钠长石：$NaAlSi_3O_8$
欧　泊	$SiO_2 \cdot nH_2O$
硼铝镁石	$MgAlBO_4$；可含有 Fe 等元素
普通辉石	$(Ca, Mg, Fe)_2(Si, Al)_2O_6$
葡萄石	$Ca_2Al(AlSi_3O_{10})(OH)_2$；可含 Fe、Mg、Mn、Na、K 等元素
蔷薇辉石	蔷薇辉石：$(Mn,Fe,Mg,Ca)SiO_3$ 和石英 SiO_2
羟硅硼钙石	$Ca_2B_5SiO_9(OH)_5$
青金石	$(NaCa)_8(AlSiO_4)_6(SO_4,Cl,S)_2$
青田石	叶蜡石：$Al_2(Si_4O_{16})(OH)_2$，多种矿物集合体。
人造钆镓榴石	$Gd_3Ga_5O_{12}$
人造钛酸锶	$SrTiO_3$
人造钇铝榴石	$Y_3Al_5O_{12}$
日光石	$XAlSi_3O_8$；X 为 Na、Ca
软　玉	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
赛黄晶	$CaB_2(SiO_4)_2$

续表

宝石名称	化学成分
珊 瑚	无机成分：$CaCO_3$；有机成分：硬蛋白质
蛇纹石	$(Mg,Fe,Ni)_3Si_2O_5(OH)_4$；常见伴生矿物方解石、滑石、磁铁矿等
石榴石	$A_3B_2(SiO_4)_3$ A 为 Mg^{2+}、Fe^{2+}、Mn^{2+}、Ca^{2+} 等；B 为 Al^{3+}、Cr^{3+}，Fe^{3+}、Ti^{3+}、V^{3+} 及 Zr^{3+} 等
石 英	SiO_2；可含有 Ti、Fe、Al 等元素
石英岩（东陵石）	SiO_2
寿山石（田黄）	迪开石：$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$；高岭石，珍珠陶土，伊利石，叶蜡石等多种矿物集合体
水钙铝榴石	$Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(OH)_{4x}$；其中 (OH)可替代部分 (SiO_4)
塑 料	C、H、O
塔菲石	$MgBeAl_4O_8$；可含有 Ca、Fe、Mn、Cr 等元素
天河石	$KAlSi_3O_8$；Rb 致色
天蓝石	$MgAl_2(PO_4)_2(OH)_2$
天青石	$(Sr,Ba)SO_4$；其中 Sr 含量大于 Ba 含量，可含有 Pb、Ca、Fe 等元素
天然玻璃	SiO_2；可含多种杂质
透辉石	$CaMgSi_2O_6$；可含有 Cr、Fe、V、Mn 等元素
透视石	$CuSiO_2(OH)$
托帕石	$Al_2SiO_4(F,OH)_2$；可含有 Li、Be、Ga 等微量元素，粉红色可含 Cr
矽线石	Al_2SiO_5；可含有 Fe 等元素
顽火辉石	$(Mg，Fe)_2Si_2O_6$；可含有 Ca、Al 等元素
锡 石	SnO_2；可含有 Fe、Nb、Ta 等元素
象 牙	主要组成为磷酸钙、胶原质和弹性蛋白
榍 石	$CaTiSiO_5$
阳起石	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
萤 石	CaF_2
黝帘石	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3(OH)$；可含有 V、Cr、Mn 等元素
鱼眼石	$KCa_4Si_8O_{20}(F,OH)\cdot 8H_2O$
玉 髓	SiO_2；可含有 Fe、Al、Ti、Mn、V 等元素
月光石	$X(AlSi_3O_8)$；X 为 Na、K
珍 珠	无机成分：$CaCO_3$；有机成分：C、H 化合物
重晶石	$(Ba,Sr)SO_4$；Ba 含量大于 Sr 含量
柱晶石	$Mg_3Al_6(Si,Al,B)_5O_{21}(OH)$
祖母绿	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$；可含有 Cr、Fe、Ti、V 等元素
钻 石	C；可含有 N、B、H 等微量元素

附录4　宝石晶系与宝石光性表

宝石名称	晶　系	光　性	宝石名称	晶　系	光　性
欧　泊	非晶质体	均质体	白云石	三方	一轴负
玻　璃	非晶质体	均质体	菱锌矿	三方	一轴负
天然玻璃	非晶质体	均质体	菱锰矿	三方	一轴负
琥　珀	非晶质体	均质体	葡萄石	斜方	二轴正
龟　甲	非晶质体	均质体	硕火辉石	斜方	二轴正
煤　精	非晶质体	均质体	金绿宝石	斜方	二轴正
塑　料	非晶质体	均质体	托帕石	斜方	二轴正
钻　石	等轴	均质体	天青石	斜方	二轴正
石榴石	等轴	均质体	重晶石	斜方	二轴正
青金石	等轴	均质体	矽线石	斜方	二轴正
尖晶石	等轴	均质体	黝帘石	斜方	二轴正
萤　石	等轴	均质体	橄榄石	斜方	二轴正、负
方钠石	等轴	均质体	赛黄晶	斜方	二轴正、负
水钙铝榴石	等轴	均质体	堇青石	斜方	二轴正、负
合成立方氧化锆	等轴	均质体	红柱石	斜方	二轴负
人造钇铝榴石	等轴	均质体	柱晶石	斜方	二轴负
人造钆镓榴石	等轴	均质体	硼铝镁石	斜方	二轴负
人造钛酸锶	等轴	均质体	锂辉石	单斜	二轴正
锆　石	四方	一轴正	透辉石	单斜	二轴正
锡　石	四方	一轴正	榍　石	单斜	二轴正
合成金红石	四方	一轴正	磷铝钠石	单斜	二轴正
符山石	四方	一轴正、负	蓝柱石	单斜	二轴负
方柱石	四方	一轴负	绿帘石	单斜	二轴负
鱼眼石	四方	一轴负	滑　石	单斜	二轴负
合成碳硅石	六方	一轴正	天蓝石	单斜	二轴负
蓝锥矿	六方	一轴正	绿松石	三斜	二轴正
绿柱石	六方	一轴负	硅硼钙石	单斜	二轴负
磷灰石	六方	一轴负	月光石	单斜或三斜	二轴正、负
塔菲石	六方	一轴负	天河石	单斜或三斜	二轴正、负
石　英	三方	一轴正	普通辉石	三斜	二轴正
透视石	三方	一轴正	拉长石	三斜	二轴正、负
硅铍石	三方	一轴正	磷铝锂石	三斜	二轴正、负
刚　玉	三方	一轴负	日光石	三斜	二轴正、负
碧　玺	三方	一轴负	蓝晶石	三斜	二轴负
方解石	三方	一轴负	斧　石	三斜	二轴负

附录5　宝石折射率表

宝石名称	n	双折射率	宝石名称	n	双折射率
欧　泊	1.37～1.47		天青石	1.619～1.637	0.018
萤　石	1.434 ±		菱锌矿	1.621～1.849	0.225～0.228
塑　料	1.46～1.700		碧　玺	1.624～1.644	0.018～0.040
玻　璃	1.470～1.700		硅硼钙石	1.626～1.670	0.044～0.046
方钠石	1.483 ±		阳起石	1.63 ±	
方解石	1.486～1.658		葡萄石	1.63 ±	
大理石	1.486～1.658		赛黄晶	1.630～1.636	0.006 ±
珊　瑚	1.486～1.658		磷灰石	1.634～1.638	0.002～0.008
天然玻璃	1.49 ±		红柱石	1.634～1.643	0.007～0.013
青金石	1.50 ±		重晶石	1.636～1.648	0.012 ±
硅孔雀石	1.50 ±		蓝柱石	1.652～1.671	0.019～0.020
白云石	1.505～1.743	0.179～0.184	硅铍石	1.654～1.670	0.016 ±
月光石	1.518～1.526	0.005～0.008	橄榄石	1.654～1.690	0.035～0.038
钠长石玉	1.52～1.53		透视石	1.655～1.708	0.051～0.053
天河石	1.522～1.530	0.008 ±	孔雀石	1.655～1.909	
玉　髓	1.53 ±		矽线石	1.659～1.680	0.015～0.021
硅化木	1.53 ± 或 1.54		翡翠	1.66 ±	
木变石	1.53 ± 或 1.54		煤精	1.66 ±	
石英岩	1.54 ±		辉石	1.660～1.772	0.008～0.033
珍　珠	1.53～1.685		锂辉石	1.660～1.676	0.014～0.016
青田石	1.53～1.60		顽火辉石	1.663～1.673	0.008～0.011
贝　壳	1.530～1.685		柱晶石	1.667～1.680	0.012～0.017
鱼眼石	1.535～1.537	0.002 ±	硼铝镁石	1.668～1.707	0.036～0.039
日光石	1.537～1.547	0.007～0.010	普通辉石	1.670～1.772	0.018～0.033
琥　珀	1.54 ±		透辉石	1.675～1.701	0.024～0.030
象　牙	1.54 ±		斧石	1.678～1.688	0.010～0.012
滑　石	1.540～1.590	0.05	黝帘石	1.691～1.700	0.008～0.013
堇青石	1.542～1.551	0.008～0.012	石榴石	1.710～1.940	
石　英	1.544～1.553	0.009 ±	符山石	1.713～1.718	0.001～0.012
龟　甲	1.55 ±		蓝晶石	1.716～1.731	0.012～0.017
查罗石	1.550～1.559		尖晶石	1.718	
方柱石	1.550～1.564	0.004～0.037	塔菲石	1.719～1.723	0.004～0.005

续表

宝石名称	n	双折射率	宝石名称	n	双折射率
拉长石	1.559～1.568	0.009 ±	水钙铝榴石	1.72	
寿山石	1.56		绿帘石	1.729～1.768	0.019～0.045
鸡血石	"地" 约 1.56 "血" >1.81		蔷薇辉石	1.73	
			金绿宝石	1.746～1.755	0.008～0.010
蛇纹石	1.560～1.570		蓝锥矿	1.757～1.804	0.047 ±
独山玉	1.560～1.700		刚玉	1.762～1.770	0.008～0.010
绿柱石	1.577～1.583	0.005～0.009	锆石	1.810～1.984	0.001～0.059
祖母绿	1.577～1.583	0.005～0.009	人造钇铝榴石	1.833 ±	
海蓝宝石	1.577～1.583	0.005～0.009	榍石	1.900～2.034	0.100～0.135
羟硅硼钙石	1.59 ±		人造钆镓榴石	1.970 ±	
菱锰矿	1.597～1.817	0.22	锡石	1.997～2.093	0.096～0.098
软 玉	1.60～1.61		合成立方氧化锆	2.15 ±	
绿松石	1.61 ±		人造钛酸锶	2.409 ±	
磷铝钠石	1.602～1.621	0.019～0.021	钻石	2.417 ±	
磷铝锂石	1.612～1.636	0.020～0.027	合成金红石	2.616～2.903	0.287 ±
天蓝石	1.612～1.643	0.031 ±	合成碳硅石	2.648～2.691	0.043 ±
托帕石	1.619～1.627	0.008～0.010	赤铁矿	2.940～3.220	0.28

附录6　宝石密度表

宝石名称	ρ/g·cm^{-3}	宝石名称	ρ/g·cm^{-3}	宝石名称	ρ/g·cm^{-3}
塑　料	1.05～1.55	大理石	2.7 ±	透视石	3.3 ±
琥　珀	1.08 ±	海蓝宝石	2.72 ±	橄榄石	3.34 ±
龟　甲	1.29 ±	祖母绿	2.72 ±	翡　翠	3.34 ±
煤　精	1.32 ±	绿柱石	2.72 ±	黝帘石	3.35 ±
珊　瑚	1.35～2.65	青金石	2.75 ±	绿帘石	3.4 ±
象　牙	1.70～2.00	滑　石	2.75 ±	符山石	3.4 ±
硅孔雀石	2.0～2.4	绿松石	2.76 ±	水钙铝榴石	3.47 ±
欧　泊	2.15 ±	葡萄石	2.80～2.95	硼铝镁石	3.48 ±
方钠石	2.25 ±	贝　壳	2.86 ±	蔷薇辉石	3.5 ±
玻　璃	2.30～4.50	白云石	2.86～3.20	石榴石	3.50～4.30
玻璃陨石	2.36	独山玉	2.90 ±	钻　石	3.52 ±
火山玻璃	2.40 ±	硅铍石	2.95 ±	榍　石	3.52 ±
鱼眼石	2.40 ±	软　玉	2.95 ±	托帕石	3.53 ±
寿山石	2.50～2.70	硅硼钙石	2.95 ±	尖晶石	3.6 ±
硅化木	2.50～2.91	磷铝钠石	2.97 ±	菱锰矿	3.6 ±
天河石	2.56 ±	赛黄晶	3 ±	塔菲石	3.61 ±
蛇纹石	2.57 ±	阳起石	3 ±	蓝晶石	3.68 ±
月光石	2.58 ±	磷铝锂石	3.02 ±	蓝锥矿	3.68 ±
羟硅硼钙石	2.58 ±	碧　玺	3.06 ±	金绿宝石	3.73 ±
玉　髓	2.60 ±	蓝柱石	3.08 ±	天青石	3.87～4.30
钠长石玉	2.60～2.63	天蓝石	3.09 ±	锆　石	3.90～4.73
方柱石	2.60～2.74	辉　石	3.10～3.52	孔雀石	3.95 ±
鸡血石	2.61 ±	红柱石	3.17 ±	刚　玉	4 ±
堇青石	2.61 ±	磷灰石	3.18 ±	合成金红石	4.26 ±
珍　珠	2.61～2.85	萤　石	3.18 ±	菱锌矿	4.3 ±
木变石	2.64～2.71	锂辉石	3.18 ±	重晶石	4.5 ±
石英岩	2.64～2.71	合成碳硅石	3.22 ±	人造钇铝榴石	4.50～4.60
日光石	2.65 ±	普通辉石	3.23～3.52	人造钛酸锶	5.13 ±
青田石	2.65～2.90	顽火辉石	3.25 ±	赤铁矿	5.2 ±
石　英	2.66 ±	矽线石	3.25 ±	合成立方氧化锆	5.8 ±
查罗石	2.68 ±	透辉石	3.29 ±	锡　石	6.95 ±
拉长石	2.7 ±	斧　石	3.29 ±	人造钆镓榴石	7.05 ±
方解石	2.7 ±	柱晶石	3.3 ±		

附录 7　常见宝石特征吸收光谱

红色宝石

吸收光谱	宝石及特征
700 600 500 400nm	红宝石 694、692、668、659nm吸收线，620～540nm吸收带，476、475nm强吸收线，468nm弱吸收线，紫光区吸收
700 600 500 400nm	红、粉红碧玺 绿光区宽吸收带，有时可见525nm窄带，451nm、458nm吸收线
700 600 500 400nm	红色尖晶石 685、684nm强吸收线，656nm弱吸收带，595～490nm强吸收带
700 600 500 400nm	粉红色方柱石 663nm和652nm吸收线
700 600 500 400nm	红色镁铝榴石 564nm宽吸收带，505nm吸收线，含铁者可有440、445nm吸收线，优质镁铝榴石可有铬吸收(红区)
700 600 500 400nm	红色铁铝榴石 504、520、573nm强吸收带，423、460、610、680～690nm弱吸收带

蓝色宝石

吸收光谱	宝石及特征
700 600 500 400nm	蓝宝石(蓝色、绿色、黄色) 450nm吸收带或450、460、470nm吸收线
700 600 500 400nm	海蓝宝石 537 nm和456 nm弱吸收线，427nm强吸收线
700 600 500 400nm	深蓝色绿柱石 688、624、587、560nm吸收带

吸收光谱	宝石及特征
700 600 500 400nm	蓝、绿碧玺 红区普遍吸收，498nm强吸收带
700 600 500 400nm	蓝色尖晶石 460nm强吸收带，430～435、480、550、565～575、590、625nm 吸收带
700 600 500 400nm	蓝色坦桑石 595、528nm吸收带

绿色宝石

吸收光谱	宝石及特征
700 600 500 400nm	祖母绿 683nm和680nm强吸收线， 662nm和646nm弱吸收线， 630～580nm部分吸收带，紫区全吸收
700 600 500 400nm	橄榄石 453、477、497nm强吸收带
700 600 500 400nm	黄绿色钙铁榴石 440nm吸收带
700 600 500 400nm	深绿色钙铁榴石 618、634、685、690nm吸收线
700 600 500 400nm	铬透辉石 635、655、670nm吸收线，690nm双吸收线
700 600 500 400nm	绿色锂辉石 646、669、686nm吸收线，620nm附近宽带
700 600 500 400nm	翠榴石 红区有701nm铬吸收谱线，440nm吸收带， 也可有618、634、685、690nm吸收线
700 600 500 400nm	铬致色的绿色翡翠 具630、660、690nm吸收线；437nm吸收线

光谱	说明
700 600 500 400nm	铬盐染绿翡翠 具650nm吸收带
700 600 500 400nm	暗绿色水钙铝榴石 460nm以下全吸收
700 600 500 400nm	染色绿玉髓 645和670nm吸收线

黄色宝石

光谱	说明
700 600 500 400nm	金绿宝石 445nm强吸收带
700 600 500 400nm	棕黄色顽火辉石(绿色也具相同谱线) 505、550nm吸收线
700 600 500 400nm	黄色锰铝榴石 410、420、430nm吸收线,460、480、520 nm吸收带,有时可有504、573nm吸收线
700 600 500 400nm	橙黄色钙铝榴石 铁致色的贵榴石(hessonite) 可有407、430nm吸收带

其他

光谱	说明
700 600 500 400nm	辐照改色钻石及天然彩色钻石 415、453、478nm吸收线,594nm吸收线
700 600 500 400nm	变石 680、678nm强吸收线,665、655、645nm弱吸收线,580nm和630nm之间部分吸收带,476、473、468nm三条弱吸收线,紫光区吸收
700 600 500 400nm	变色蓝宝石 685nm双线,600～550nm吸收带,470nm吸收线
700 600 500 400nm	各色锆石 可见2～40多条吸收线, 特征吸收为653.5nm吸收线

光谱	说明
700 600 500 400nm	各色磷灰石 580nm双线
700 600 500 400nm	无色及结构细腻的翡翠 437nm吸收线

其他宝石吸收光谱

光谱	说明
700 600 500 400nm	榍石 有时见580nm双吸收线
700 600 500 400nm	绿帘石(深绿、棕黄) 445nm强吸收带
700 600 500 400nm	堇青石 426、645nm弱吸收带
700 600 500 400nm	透辉石 505nm吸收线
700 600 500 400nm	黄绿色锂辉石 433、438nm吸收线
700 600 500 400nm	绿帘石 445nm强吸收带，有时具475nm弱吸收线
700 600 500 400nm	黄色黝帘石 455nm吸收线
700 600 500 400nm	柱晶石 503nm吸收带
700 600 500 400nm	红柱石 可显436nm和较弱的445nm吸收线

光谱	宝石及吸收特征
700 600 500 400nm	矽线石 410、441、462nm弱吸收带
700 600 500 400nm	蓝晶石 435、445nm吸收带
700 600 500 400nm	符山石 464nm吸收线，528.5nm弱吸收线
700 600 500 400nm	水钙铝榴石 暗绿色：460nm以下全吸收； 其他颜色：463 nm附近吸收
700 600 500 400nm	硼铝镁石 493、475、463、452nm吸收线
700 600 500 400nm	塔菲石 可有458nm弱吸收带
700 600 500 400nm	斧石 412、466、492、512nm吸收线
700 600 500 400nm	透视石 550nm宽吸收带
700 600 500 400nm	蓝柱石 468nm、455nm吸收带，绿区、红区有吸收
700 600 500 400nm	赛黄晶 某些可见580nm双吸收线
700 600 500 400nm	绿色欧泊 660、470nm吸收线

光谱	说明
700 600 500 400nm	含铬云母的石英岩 可具682、649nm吸收带
700 600 500 400nm	蔷薇辉石 545nm吸收宽带，503nm吸收线
700 600 500 400nm	阳起石 503nm弱吸收线
700 600 500 400nm	绿松石 偶见420、432、460nm中至弱吸收带
700 600 500 400nm	葡萄石 438nm弱吸收带
700 600 500 400nm	菱锰矿 410、450、540nm弱吸收带

附录 8　宝石硬度表

宝 石 名 称	H_M	宝 石 名 称	H_M	宝 石 名 称	H_M
青田石	1～1.5	天然玻璃	5～6	锆　石	6～7.5
塑　料	1～3	青金石	5～6	玉　髓	6.5～7
滑　石	1～3	查罗石	5～6	橄榄石	6.5～7
硅孔雀石	2～4，6±	绿松石	5～6	翡　翠	6.5～7
琥　珀	2～2.5	天蓝石	5～6	锂辉石	6.5～7
象　牙	2～3	硅硼钙石	5～6	硅化木	7
龟　甲	2～3	阳起石	5～6	木变石	7
鸡血石	2～3	辉　石	5～6	石英岩	7
寿山石(田黄)	2～3	人造钛酸锶	5～6	石　英	7
煤　精	2～4	赤铁矿	5～6	赛黄晶	7
珍　珠	2.5～4.5	磷铝锂石	5～6	水钙铝榴石	7
蛇纹石	2.5～6	磷铝钠石	5～6	堇青石	7～7.5
方解石	3	蔷薇辉石	5.5～6.5	红柱石	7～7.5
大理石	3	钠长石玉	6	碧　玺	7～8
珊　瑚	3～4	月光石	6～6.5	硅铍石	7～8
白云石	3～4	天河石	6～6.5	石榴石	7～8
贝　壳	3～4	日光石	6～6.5	蓝柱石	7～8
羟硅硼钙石	3～4	方柱石	6～6.5	绿柱石	7.5～8
天青石	3～4	拉长石	6～6.5	祖母绿	7.5～8
重晶石	3～4	软　玉	6～6.5	海蓝宝石	7.5～8
菱锰矿	3～5	葡萄石	6～6.5	托帕石	8
孔雀石	3.5～4	独山玉	6～7	黝帘石	8
萤　石	4	柱晶石	6～7	尖晶石	8
鱼眼石	4～5	硼铝镁石	6～7	人造钇铝榴石	8
菱锌矿	4～5	斧　石	6～7	金绿宝石	8～8.5
蓝晶石	4～5、6～7	符山石	6～7	塔菲石	8～9
透视石	5	绿帘石	6～7	合成立方氧化锆	8.5
磷灰石	5～5.5	蓝锥矿	6～7	刚　玉	9
榍　石	5～5.5	人造钆镓榴石	6～7	合成碳硅石	9.25
欧　泊	5～6	锡　石	6～7	钻　石	10
玻　璃	5～6	合成金红石	6～7		
方钠石	5～6	矽线石	6～7.5		

附录9　宝石矿物解理表

宝石名称	解　　理
闪锌矿	平行菱形十二面体面{110}六组完全解理
钻　石	平行八面体{111}四组完全解理
合成钻石	四组完全解理
萤　石	平行八面体{111}四组完全解理
方解石	平行菱面体{10$\bar{1}$1}三组完全解理
透视石	平行{01$\bar{1}$1}三组完全解理
大理石	方解石具三组完全解理
白云石	白云石具平行{10$\bar{1}$1}三组完全解理
菱锌矿	三组完全解理，集合体通常不见
菱锰矿	平行{10$\bar{1}$1}三组完全解理，集合体通常不见
长　石	两组完全解理
柱晶石	两组完全解理
辉　石	两组完全解理
重晶石	平行{001}和{210}两组完全解理，夹角90°
天青石	平行{001 和{210 }两组完全解理，夹角90°
磷铝锂石	{100}解理完全，{110}解理中等
翡　翠	硬玉具{110}两组完全解理，夹角87°，集合体可见微小的解理面闪光
软　玉	透闪石具{110}两组完全解理，夹角124°和56°，集合体通常不见
阳起石	平行{110}两组完全解理，夹角124°和56°，集合体通常不见
蔷薇辉石	蔷薇辉石具两组完全解理，夹角92°50′，集合体通常不见
榍　石	平行{110}两组中等解理
托帕石	平行{001}一组完全解理
黝帘石	平行{100}一组完全解理
绿帘石	平行{001}一组完全解理
堇青石	平行{010}一组完全解理
鱼眼石	平行{001}一组完全解理
矽线石	平行{010}一组完全解理
蓝晶石	一组{100}解理完全，一组{010}中等解理
葡萄石	平行{001}一组完全至中等解理，集合体通常不见
钠长石玉	钠长石具一组{001}完全解理，集合体通常不可见
红柱石	平行{110}一组中等解理
斧　石	平行{010}一组中等解理
磷铝钠石	平行{010}一组中等解理
方柱石	两组解理，{100}解理中等，{110}解理不完全
硅铍石	两组解理，{11$\bar{2}$0}解理中等，{10$\bar{1}$1}解理不完全

注：刚玉无解理，但具三组裂理，{0001}和{10$\bar{1}$1}常见，{11$\bar{2}$0}偶见。

附录10　宝石色散值表

宝石名称	色散值	宝石名称	色散值	宝石名称	色散值
萤　石	0.007	方解石	0.017	人造钇铝榴石	0.028
玻　璃	0.009～0.098	方柱石	0.017	绿帘石	0.030
正长石	0.012	堇青石	0.017	菱锌矿	0.037
磷灰石	0.013	电气石	0.017	白钨矿	0.038
水　晶	0.013	锂辉石	0.017	锆　石	0.038
海蓝宝石	0.014	红、蓝宝石	0.018	蓝锥矿	0.044
绿柱石	0.014	符山石	0.019	钻　石	0.044
祖母绿	0.014	柱晶石	0.019	人造钆镓榴石	0.045
黄　玉	0.014	塔菲石	0.019	榍　石	0.051
磷铝钠石	0.014	蓝晶石	0.020	钙铁榴石	0.057
硅铍石	0.015	橄榄石	0.020	合成立方氧化锆	0.060
金绿宝石	0.015	尖晶石	0.020	锡　石	0.071
赛黄晶	0.016	坦桑石	0.021	合成碳硅石	0.104
蓝柱石	0.016	镁铝榴石	0.022	闪锌矿	0.156
红柱石	0.016	铁铝榴石	0.024	人造钛酸锶	0.190
硅硼钙石	0.016	锰铝榴石	0.027	合成金红石	0.330
硼铝镁石	0.017	钙铝榴石	0.028		

附录11 宝石英文名称查询表

英文名称	中文名称	英文名称	中文名称
Actinolite	阳起石	Labradorite	拉长石
Albite jade	钠长石玉	Lapis lazuli（Lazurite）	青金石
Almandite（Almandine）	铁铝榴石	Larderite(Tian huang)	寿山石
Amazonite	天河石	Lazulite	天蓝石
Amber	琥 珀	Malachite	孔雀石
Amblygonite	磷铝锂石	Marble	大理石
Andalusite	红柱石	Moonstone	月光石
Andradite	钙铁榴石	Natural glass	天然玻璃
Apatite	磷灰石	Nephrite	软 玉
Apophyllite	鱼眼石	Opal	欧 泊
Aquamarine	海蓝宝石	Pearl	珍 珠
Augite	普通辉石	Peridot	橄榄石
Axinite	斧 石	Pertrified wood	硅化木
Barite	重晶石	Phenakite	硅铍石
Benitoite	蓝锥矿	Plastic	塑 料
Beryl	绿柱石	Prehnite	葡萄石
Brazilianite	磷铝钠石	Pyrope	镁铝榴石
Calcite	方解石	Pyroxene	辉 石
Cassiterite	锡 石	Qingtian stone	青田石
Celestite（Celestine）	天青石	Quartz	石 英
Chalcedony	玉 髓	Quartzite	石英岩
Charoite	查罗石	Rhodochrosite	菱锰矿
Chicken-blood stone	鸡血石	Rhodonite	蔷薇辉石
Chrysoberyl	金绿宝石	Ruby	红宝石
Chrysocolla	硅孔雀石	Sapphire	蓝宝石
Coral	珊 瑚	Scapolite	方柱石
Corundum	刚 玉	Serpentine	蛇纹石
Danburite	赛黄晶	Shell	贝 壳
Datolite	硅硼钙石	Sillimanite	矽线石
Diamond	钻 石	Sinhalite	硼铝镁石
Diopside	透辉石	Smithsonite	菱锌矿
Dioptase（Dioptasite）	透视石	Sodalite	方钠石

续表

英文名称	中文名称	英文名称	中文名称
Dolomite	白云石	Spessartite（Spessartine）	锰铝榴石
Dushan yu	独山玉	Sphene	榍　石
Emerald	祖母绿	Spinel	尖晶石
Enstatite	顽火辉石	Spodumene	锂辉石
Epidote	绿帘石	Strontium titanate	人造钛酸锶
Euclase（Euclasite）	蓝柱石	Sunstone	日光石
Fluorite	萤　石	Synthetic cubic zirconia	合成立方氧化锆
Gadolinium gallium garnet	人造钆镓榴石	Synthetic moissanite	合成碳硅石
Garnet	石榴石	Synthetic rutile	合成金红石
Glass	玻　璃	Taaffeite	塔菲石
Grossularite（Grossular）	钙铝榴石	Talc	滑　石
Hematite	赤铁矿	Tiger's-eye	木变石
Howlite	羟硅硼钙石	Topaz	托帕石
Hydrogrossular	水钙铝榴石	Tortoise shell	龟　甲
Idocrase（Vesuvianite）	符山石	Tourmaline	碧　玺
Iolite（Cordierite）	堇青石	Turquoise	绿松石
Ivory	象　牙	Uvarovite	钙铬榴石
Jadeite	翡　翠	Yttrium aluminium garnet	人造钇铝榴石
Jet	煤　精	Zircon	锆　石
Kornerupine	柱晶石	Zoisite	黝帘石
Kyanite	蓝晶石		

参 考 文 献

北京大学地质系岩石教研室．1979．光性矿物学．北京：地质出版社

地矿部宝石研究所译．1996．GIA 宝石实验室鉴定手册．武汉：中国地质大学出版社

地质矿产部宝石监测中心．1993．中华人民共和国地质矿产行业标准DZ/T 0046 钻石分级标准．北京：中国标准出版社

国家珠宝玉石质量监督检验中心．2003．中华人民共和国国家标准GB/T 16552—2003珠宝玉石 名称．北京：中国标准出版社

国家珠宝玉石质量监督检验中心．2003．中华人民共和国国家标准GB/T 16553—2003珠宝玉石 鉴定．北京：中国标准出版社

国家珠宝玉石质量监督检验中心．2003．中华人民共和国国家标准GB/T 16554—2003 钻石分级标准．中国标准出版社

国家珠宝玉石质量监督检验中心．2004．国家标准释义．北京：中国标准出版社

美国宝石研究所编．地矿部宝石公司宝石研究所译．1989．GIA 宝石实验室鉴定手册．武汉：中国地质大学出版社

南京大学地质系岩矿教研室．1978．结晶学与矿物学．北京：地质出版社

青岛京华饰品有限公司．2001．中华人民共和国国家标准GB/T 18303—2001钻石色级比色目视评价方法．北京：中国标准出版社

英国宝石协会．1997．宝石钻石学证书教程．武汉：中国地质大学出版社

中国宝玉石协会．2003．中国国石．北京：地质出版社

奥岩．2004中国玉雕·石雕作品“天工奖”典藏集．北京：地质出版社

包德清．1995．实用宝石加工工艺学．武汉：中国地质大学出版社

崔文元等．2004．田黄的真伪鉴别．2004中国珠宝首饰学术交流会论文集

董振信．1994．天然宝石．北京：地质出版社

董振信．1995．宝石鉴定指南．北京：地震出版社

邓燕华．1991．中国宝玉石矿床．北京：北京工业大学出版社

邓燕华，邓珞华．1995．宝玉石快速鉴定．北京：中国书籍出版社

方宗珪．2002．中国寿山石．福州：福建美术出版社

郭克义，周正．1996．矿物珍品．北京：地质出版社

郭守国．2004．珍珠．上海：上海文化出版社

郭永存等．1984．金刚石的人工合成与应用．北京：科学出版社

何雪梅，沈才卿，吴国忠．1998．宝石的人工合成与鉴定．修订版．北京：航空工业出版社

何雪梅，沈才卿．2005．宝石人工合成技术．北京：化学工业出版社

胡福巨．1989．巴林石志．北京：北京出版社

黄杰齐．1995．显微镜下天然酸液处理翡翠鉴定对照大全．台北：长流制版印刷公司

卡利·霍尔．2005．宝石．全世界130多种宝石的彩色图鉴

荆其诚等．1991．色度学．北京：科学出版社

利迪科特，范淑华，刘运鹏译．1983．宝石鉴定手册．北京：地质出版社
李德惠．2004．晶体光学（第二版）．北京：地质出版社
李劲松，赵松龄．2000．宝玉石大典．北京：北京出版社
李兆聪．1991．宝玉石鉴定法．北京：地质出版社
栾秉璈．1989．中国宝石和玉石．乌鲁木齐：新疆人民出版社
栾秉璈．1993．宝石．北京：冶金工业出版社
罗春明等．1992．中国苴却砚．成都：四川科学技术出版社
吕新彪．1994．宝石款式设计与加工工艺．武汉：中国地质大学出版社
吕新彪．1995．天然宝石．武汉：中国地质大学出版社
拿骚.K.著，李士杰等译．1991．颜色的物理与化学．北京：科学出版社
欧阳秋眉．1993．翡翠鉴赏．香港：香港天地图书有限公司
欧阳自远．1988．天体化学．北京：科学出版社
潘普林，B.R.主编，刘如水等译．1981．晶体生长．北京：中国建筑工业出版社
潘兆橹，王濮，翁玲宝．1982．系统矿物学（上册）．北京：地质出版社
潘兆橹，王濮，翁玲宝．1984．系统矿物学（中册）．北京：地质出版社
潘兆橹，王濮，翁玲宝．1987．系统矿物学（下册）．北京：地质出版社
潘兆橹，赵爱醒，潘铁虹．1994．结晶学及矿物学（上、下册）．北京：地质出版社
丘志力．1995．宝石中的包裹体——宝石鉴定的关键．北京：冶金工业出版社
施倪承等译．1992．矿物学原理．北京：地质出版社
史恩賜．2001．国际钻石分级概论．北京：地质出版社
唐延龄，陈葆章，蒋壬华．1994．中国和田玉．乌鲁木齐：新疆人民出版社
王德滋．1975．光性矿物学．上海：上海人民出版社
王福泉．1987．宝石通论．北京：科学出版社
王雅玫，张艳．2004．钻石宝石学．北京：地质出版社
王雅玫等．1997．钻石．武汉：中国地质大学出版社
吴舜田，缪承汉．1991．实用钻石分级学．台湾：经纶图书公司
吴瑞华，王春生，袁晓江．1994．天然宝石的改善及鉴定方法．北京：地质出版社
杨春广．2002．巴林石．呼和浩特：内蒙古人民出版社
杨汉臣等．1985．新疆宝石和玉石．乌鲁木齐：新疆人民出版社
杨忠贵．2001．青田石雕论文集．北京：中国文联出版社
姚宾谟．2002．昌化鸡血石品评与购藏．北京：中国美术学院出版社
叶大年等．1981．岩矿实验室工作方法．北京：地质出版社
袁心强．1998．钻石分级的原理与方法．武汉：中国地质大学出版社
张蓓莉等．2001．珠宝首饰评估．北京：地质出版社
张光从，张乐潓．1981．晶体生长．北京：科学出版社
张险峰，郭宝罗，何亚荣．1994．宝玉石鉴定加工应用技术数据手册．北京：地质出版社
张瑜生．1987．4C钻石评价．华视出版社
张志纯，邓建民译．1977．宝石雕琢大全．台湾徐氏基金会

赵凯华，钟锡华．1982．光学．北京：北京大学出版社
赵松龄，陈康德．1992．宝玉石鉴定指南．东方出版社
赵新民．1989．宝石加工工艺学．南阳大学出版社
谢玉坎．1995．珍珠科学．北京：海洋出版社，
周佩玲等．2004．有机宝石学．武汉：中国地质大学出版社
周佩玲．1995．有机宝石与投资指南．武汉：中国地质大学出版社
Balitsky V S，陈钟惠译．2000．当前俄罗斯的合成宝石和宝石优化．宝石和宝石学，(4)
Hyrsl J，郑玮译．2002．新发现的、罕见的猫眼宝石和星光宝石．宝石和宝石学，(2)
Tang S M,Tay T S. 2001．中子辐照处理的放射性金绿宝石．宝石和宝石学，（12）
陈武，钱汉东．2000．石榴石族宝石矿物的产状和成因．宝石和宝石学，（12）
陈武，钱汉东．2001．电气石族宝石矿物(碧玺)的成分与其成因产状的关系．宝石和宝石学，31(4)
陈振强，曾骥良，张昌龙等．2002．彩色刚玉多单晶体的梯形水热生长．人工晶体学报，31（1）：18~21
陈志强．1995．查罗石简介．珠宝科技，(2)
陈钟惠译．2005．化学气相沉淀法合成钻石．Gems&Jewellery,14(2)28
李景芝．1996．欧泊、合成欧泊、仿欧泊的鉴别．中国宝石，(17)
李景芝，高岩，张蓓莉．1995．缅甸 Mong Hsu 红宝石研究．中国宝石，(14)
李景芝，郭立鹤．1995．如何区分天然与合成祖母绿．中国宝石，(4)
李立平等．2003．铬和钒在宝石变色效应中的作用．宝石和宝石学，（12）
李立平．1996．俄罗斯查罗石玉的宝石学研究．地球科学——中国地质大学学报，(6)
李志刚．2004．广州珠宝市场常见的珠宝玉器处理方法．宝石和宝石学，(4)
廖香俊．1994．海南玻璃陨石（雷公墨）的宝石学特征．珠宝科技，(4)
刘爱群．1994．山东蓝宝石改色机理探讨．中国宝玉石，(2)
刘鸿泽，曹彩．1994．珍珠的加工及分级．中国宝石，(4)
刘克全．1993．稀世工艺原料——菊花石．中国宝石，(1)
刘学良，郭守国．2005．充填红宝石及其鉴别．中国宝石，(53)
龙忠明．1994．中国祖母绿．中国宝石，(7)
吕麟素．1994．安徽名砚材的地质特征．中国文房四宝，(1)(2)
吕麟素．1994．试论古今中国砚石资源．中国文房四宝，(3)
吕麟素等．1993．中国砚的种类及分类．中国文房四宝，(2)(3)
罗益清．1992．中国红宝石．中国宝石，(2)
毛界武．1994．斯里兰卡 GEUDA 蓝宝石．中国宝石，(4)
欧阳秋眉．1994．如何正确鉴别翡翠 B 货．中国宝石，(9)
戚立昌．1995．金刚石膜及其在宝石业中的应用．中国宝石，(15)
亓利剑．1996．热处理红宝石中内含物的形成及演变．中国宝石，(18)
亓利剑．2000．扩散处理黄玉振动谱学特征及呈色机理．宝石和宝石学，(1)
钱天宏，罗益清．1993．云南红宝石．中国宝玉石，(4)
秦善．1991．尼山砚的花纹和品质．国外非金属矿与宝石，(2)(3)

丘志力，秦社彩，李友新．1993．祖母绿的特征及鉴定．中国宝玉石,(2)
任东．1992．琥珀漫谈．中国宝石,(2)
沈才卿．2002．桂林水热法合成祖母绿宝石的生长原理、鉴定特征和发展前景．珠宝科技,(45)
施加宇．1996．云南宝石资源．中国宝玉石,(17)
宋慧春．1999．一种镁铝复合盐对珍珠增光作用的研究．淡水渔业，29(6)：19~21
谭敬华．1992．珍珠的处理与鉴别．中国宝玉石,(1)
汤德平．2005．一些寿山石新品种的宝石学研究．宝石和宝石学，7(4)
唐延龄，刘德权，周汝洪．2002．和田玉的名称，文化，玉质和矿床类型之探讨．岩石矿物学，21(增刊)
唐延龄，刘德权，周汝洪．2002．新疆玛纳斯碧玉的成矿地质特征．岩石矿物学杂志，21(增刊)
王辅亚等．1996．广东绿玉的物质组成和谱学特征．矿物学报,(1)
王曼君．1987．色度测量在宝石学应用的初步探讨．宝石,(1)
王时麒，段体玉，郑姿姿．2002．岫岩软玉（透闪石玉）的矿物岩石学特征及成矿模式．岩石矿物学杂志，21(增刊)
王时麒．2004．鸡血石的造假方法与识别．2004中国珠宝首饰学术交流会论文集
王子祥．1994．草原瑰宝——巴林石．矿产与地质,(8)
吴大荣．1996．蜚声海内外的织金石砚．中国文房四宝,(4)
吴瑞华，林善园，白峰等．1998．辐照处理对碧玺物理性质的影响．岩石矿物学，17(4)
吴舜田．1995．祖母绿．珠宝界,(34)
吴振寰．1992．越南红宝石开采近况．中国宝石,(2)
徐海江，曹成，毛骞．1996．俄罗斯恰拉玉的研究．铀矿地质,(2)
阎家宪．1996．一个古老而新生的砚种——河南方城石砚，亦称黄石砚．中国文房四宝,(4)
杨富绪，刘树忠．1993．中国橄榄石．中国宝石,(7)
杨富绪，刘树忠．1996．天然珍珠成因考．中国宝石,(1)
杨雅秀．1995．“图章石”主要的矿物成分为迪开石类矿物非叶蜡石矿物．建材地质,(3)
余平编译．2002．巴西“帕拉巴”碧玺近况．超硬材料与宝石(特辑)，14(4)
余平译．1991．一种畅销人造珠的生产与鉴别．珠宝,(1)
袁心强．2000．桂林水热法合成红、蓝宝石的宝石学研究．宝石和宝石学，2(4)
苑执中，金萍．2005．化学气相沉淀法合成钻石简介．中国宝石，(2)192~194
张本宏，陈振强．2002．天然与合成彩色绿柱石的致色和宝石学特征．宝石和宝石学，13
张偲．1991．大珠母贝养殖珍珠．珠宝,(1)
张光荣．1992．陕西略阳五花石的矿物学研究．岩石矿物学,(1)
张良钜．1996．碧玺的宝石学特征，桂林工学院学报，16(3)
张良钜．2000．块状水钙铝榴石玉的点状绿研究及其鉴别．宝石和宝石学,(6)
张鼐．1995．合成水晶饰品及其鉴别．中国宝石,(12)
张小丽．1998．国内外珍珠漂白技术进展．湛江海洋大学学报,(4)67~70
赵以辛等．1993．书斋奇石谱——黏土矿物贵彩石简介．珠宝科技,(4)
赵玉玲．1991．碎琥珀再生成型研究．珠宝,(2)

郑瑞凡. 1985. 湖南浏阳菊花石矿物学特征及成因研究. 湖南地质,(4)

郑辙. 1988. 歙砚砚石的矿物岩石学研究和歙砚的发墨理论. 科学通报,(17)

钟自然. 1995. 澳大利亚蓝宝石. 中国宝石,(12)

邹天人, 杨岳清. 1996. 中国电气石(碧玺)的颜色与成分. 矿床地质, 15(增刊)

C. S. Hurlbu, R. C. Kammering. 1991. Gemmology. New York: John Wiley & Sons, Inc.

David Stanley Epstein. 1989. The Capoeirana Emerald Deposit near Nova Era, Minas Genais, Brazil. Gems & Gemology, 15(2): 150～158

Dr. Karl Schmetzer, Dr. Heinz-Jurgen Bernhardt and Dr. Lore Kiefert. 2002. Star garnets and star garnet cat's-eyes from Ambatondrazaka, Madagascar. The Journal of Gemmology, January

E. J. Gübelin, J. I. Koivula. 1992. Photoatlas of Inclusions in Gemstones, 2nd Ed.. Switzerland: ABC Edition Zurich

E. J. Gübelin. 1982. New Synthetic Rubies Made by Professor P. O. Knischka. Gems & Gemology, 18(3)

Edinburgh Gemmological Group. 1993. Zircon, a Study of Material Donated by Mr. W. C. Buckingham from Varlous Localitie (mainly Indo-China). Journal of Gemmology, 23(7): 387～390

Elizabeth P. Quinn, Dudley Blauwet. 2005. New Emerald Deposit in Xinjiang, China. Gems & Gemology, Summer

Eric Bruton. 1975. Diamonds, 2nd Ed. Pennsylvania: Chilton Book Company

Foskin, GA..1994. Photo Masters for Diamond Grading. USA (Illinois): Gemworld International, Inc.

Gem Reference Guide for GIA Colored Stones, Gem Identification and Colored Stone Grading Courses

GIA. 1986. Diamond Grading (Textbook for studying at home)

GIA. 1991. Diamonds. GIA

I. A. Mumme. 1982. The Emerald, Its Occurrence, Discrimination and Valuation, Mumme Publications

Iris Kochelbergh Eddy Vleeschdrage Jan Walgrave. 1988. The Brilliant Story of Antwerp Diamonds

ISO. 2002. INTERNATIONAL STANDARD ISO/FDIS11211-2

J. E. Arem. 1987. Color Encyclopedia of Gemstones. New York: Van Nostrand Reinhold

J. E. Field. 1992. The Properties of Natural and Synthetic Diamond. Great Britain (Cambridge): Academic Press Ltd.

J. I. Koivula, R. C. Kammerling, et al. 1996. Gemmological Investigation of a New Type of Russian Hydrothermal SyntheticEmerald. Gems &Gemology, 32(1): 32～39

Jacksons A P, Vincents J F V, Briggss D, et al. 1986. Application of surface analytical techniques to the study of fracture surfaces of mother-of-pearl. Journal of Materials Science Letters, 5: 975-978

John L. Emmett ect. 2003. Beryllium Diffusion of Ruby and Sapphire. Gems & Gemology, 139(2)84~133

K. Nassan. 1980. Gems Made by Man. Chilton Book Company

Karin N. Hurwit, Tomas Moses. 2003. Ruby Heat Treated with a Large Glass-Filled Cavity. Gems & Gemology,39(1)45

Karl Schmetzer. 1996. Gtowth Method and Growth — Related Ptoperties of a New Type of Russian Hydrothermal synthetic Emerald. Gems & Gemology, 32(1): 40～43

Kimberly M. Rockwell, Christopher M. Breeding. 2004. Rubies Clarity Enhanced with a Lead Glass Filler. Gems & Gemology, 40(3)247~249

Kurt Nassan. 1981. Heat Treating Ruby and Sapphire Technical Aspects. Gems & Gemology, 17(3)

M. Van Bockstael. 1994. HRD Diamond Grading (Textbook for HRD Diamond Grading Course)

Michael O'Donoghue. 1983. Identifying Man-made Dems. London: N. A. G. Press Ltd.

Penny Preddow, Marion Fasel. 1996. Diamonds. New York: Harry N. Abrams, Inc.

Renee Newman. 1994. The Pearl Buying Guide, 2nd Ed.. Los Angeles: International Jewelry Publication

Richard T. Liddicoat & Alice keller. 1990. A Retrospective of 80's. Gems& Gemology, GIA, Colifornia

Richard T. Liddicoat, Jr.. 1993. Handbook of Gem Identification. 12th Ed.. GIA, California

Robert E. Kane. 1983. The Ramaura Synthetic Ruby. Gems & Gemology, 19(3)

Shane F. McClure. 2002. Cobalt-"Diffused" Sapphire. Gems & Gemology, 38(2)167

Sigrid G. Eeckhout, Antonio C. S. Sabioni and Ana Claudia. 2004. A treatment study of Brazilian garnets. The Journal of Gemmology, October

Sinkankas, J. 1981. Emerald and Other Beryls. Chilton Book Co.

Ted Themelis. 1992. The Heat Treatment of Ruby and Sapphire. USA: Gemlab Inc.

Velena Pagel-Theisen, G. G. 1993. Diamond Grading ABC, llth Ed.. Antwerpen: Rubin & Sonbvha

W. Gutmannsbauer, H. A. et. 1994. Structural and chemical investigations on shells and pearls of nacre forming salt- and fresh-water bivalve molluscs. The Journal of Gemmology, 24(4): 241~252

W. L. D. R. Kumaratilake. 1998. Spinel and garnet star networks: an interesting asterism in gems from Sri Lanka The Journal of Gemmology, January

W. Schumann. 1977. Gemstones of the World. New York: Sterling Publishing Co., Inc.

Webster, R. 1978. Practical Gemmology. London: N. A. G. Press Ltd.

Webster, R. 1994. Gems: Their Sources, Descriptions and Identification, 5th Ed.. Revised by Peter Read, Butterworths, London

William Rohtert. 2002. Canadian Emerald Discovery in the Yukon. Gems & Gemology, Spring 38(1)